

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

**Analýza vlastností speciálních bloků z knihovny
programu Matlab-Simulink pro simulaci AC
pohonů**

**Property Analysis of Special Blocks from Matlab-
Simulink Library for AC Drives Simulation**

2012

Martin Pavlíček

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Pavlíček**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2602R014 Aplikovaná a komerční elektronika
Téma: **Analýza vlastností speciálních bloků z knihovny programu Matlab-Simulink pro simulaci AC pohonů**
Property Analysis of Special Blocks from MATLAB-Simulink Library for AC Drives Simulation

Zásady pro vypracování:

1. Rozeberte možnosti programu Matlab-Simulink pro simulaci AC pohonů
2. Popište použitelné standardní bloky z knihovny Simulinku sloužící pro simulaci AC pohonů
3. S použitím vybraných standardních bloků proveďte simulaci zadaných úloh
4. Vytvoření a ověření vlastních vybraných uživatelských bloků, porovnání se standardními bloky

Seznam doporučené odborné literatury:

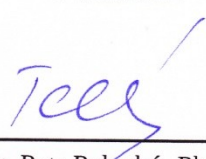
Dle pokynů vedoucího závěrečné práce

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Ivo Neborák, CSc.**

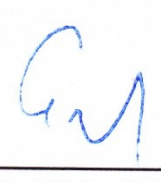
Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012



doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

4. května 2012



.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych velice rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Ivu Neborákovi, CSc. za odborné konzultace a rady, které mi pomohly při vypracování této bakalářské práce. Rád bych poděkoval i rodičům za podporu při studiu.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou vlastností speciálních bloků z knihovny programu Matlab-Simulink pro simulaci AC pohonů, konkrétně je pak zaměřena na napájení asynchronního motoru ze střídače napětí. Obsahuje nejprve teoretickou část, kde je proveden rozbor jednotlivých nalezených bloků v programu Matlab-Simulink, které se mohou použít pro napájení AC pohonů. Dále se pak v práci zabývám popisem jednotlivých parametrů nalezených bloků. Jsou zde také uvedeny schematické značky bloků a dialogová okna s nabídkami, pro nastavení parametrů každého bloku.

Druhá část mé práce je pak zaměřena na simulaci zvoleného bloku napájení a bloku asynchronního motoru se zadanými parametry v programu Matlab-Simulink. Simulace je rozdělena na dvě části, nejprve simulace se standardními bloky a poté s vytvořeným vlastním uživatelským blokem pro napájení.

Klíčová slova

Asynchronní motor, napěťový střídač, napájení AC pohonů, simulační model napájení, simulace, Matlab-Simulink

ABSTRACT

This Bachelor's thesis deals with analysis the properties of special blocks from library of Matlab-Simulink for simulation of AC drives, is then focused specifically on the power of induction motor from the inverter voltage. At first contains the theoretical part, where is made an analysis of individual blocks found in Matlab-Simulink, which can be used for AC drives. Then I deal with the description of individual parameters of blocks found. There are also shown lists of schematic symbols of blocks and dialog boxes with setting menu parameters of each block.

The second part of my work is focused on the simulation of the selected block of the power and the block of induction motor with specified parameters in the program Matlab-Simulink. The simulation is divided into two parts, first simulation with standard blocks and then with their own user block for the power.

Keywords

Induction motor, voltage inverter, the power AC drives, simulation model of power, simulation, Matlab-Simulink

Seznam použitých symbolů a zkratek:

AC – střídavé

GTO – vypínatelný thyristor

IGBT – bipolární tranzistor s izolovaným hradlem

HP – koňská síla

MOSFET – polem řízený tranzistor

pu – poměrné

rpm – otáčky za minutu

g – vstup pro spínání

C	[F]	kapacita
f	[Hz]	frekvence
F	[N.m.s]	koeficient tření
i	[A]	proud
J	[kg.m ²]	moment setrvačnosti
L	[H]	indukčnost
m	[-]	velikost modulačního signálu, výstup z motoru
M	[H]	vzájemná indukčnost
M	[N.m]	moment
n	[ot/min]	otáčky
p	[-]	počet pólových dvojic
P	[W]	výkon
R	[Ω]	odpor
t	[s]	čas
T_m	[N.m]	mechanický moment
u, U	[V]	napětí
θ	[rad]	úhel natočení
ω	[rad/s]	elektrická úhlová rychlost
Ω_m	[rad/s]	mechanická úhlová rychlost

Indexy:

a	statorová fáze a
b	statorová fáze b
c	statorová fáze c
d	stejnoseměrné
e	elektromagnetický
m	mechanický
n	jmenovitý
p	pólové
r	rotorový, referenční
s	statorový
α	reálná osa statorového souřadného systému
β	imaginární osa statorového souřadného systému

OBSAH

1	Úvod	6
2	Popis programu a prostředí	7
2.1	Matlab	7
2.2	Simulink	8
3	Popis nalezených a použitelných bloků pro napájení AC pohonů	10
3.1	Měniče pro napájení AC pohonů	10
3.1.1	Nastavení a význam jednotlivých parametrů bloku Universal Bridge	11
3.2	Jednotlivé bloky a k nim patřící nabídka nastavovaných parametrů	12
3.2.1	Blok IGBT/Diodes	13
3.2.2	Blok Thyristors	14
3.2.3	Blok GTO/Diodes	15
3.2.4	Blok MOSFET/Diodes	16
3.3	Asynchronní motor	17
3.3.1	Nastavení a význam jednotlivých parametrů bloku Asynchronous Machine ..	18
3.3.2	Popis nabídky Parameters	19
3.3.3	Popis nabídky Advanced	21
3.4	Blok Powergui	22
3.4.1	Nabídka Simulace a možnosti simulace	23
3.4.2	Nabídka Analytické nástroje	25
4	Simulace z nalezených bloků v prostředí Simulink	27
4.1	Simulace s použitím vybraných standardních bloků	28
4.2	Simulace s použitím vlastních vytvořených bloků	35
4.3	Zhodnocení a porovnání simulací:	42
5	Závěr	43
	Použitá literatura	44

1 Úvod

Asynchronní stroje jsou nejjednodušší, nejlevnější a nejrozšířenější točivé elektrické stroje. Používají se především jako motory od výkonů řádově desítek wattů do výkonů stovek kilowattů. Méně často se pak používají v generátorickém režimu, především pak v malých vodních elektrárnách. Nejpoužívanějšími motory jsou pak třífázové asynchronní motory. K vlastnostem těchto neekonomičtějších a nejvíce používaných elektromotorů patří jejich robustní a jednoduchá konstrukce, stejně tak i vysoký stupeň krytí a standardizované typové velikosti.

Asynchronní stroj se skládá ze statoru a rotoru. Stator tvoří pevná kostra ze svařence nebo odlitku, v kostře je umístěn magnetický obvod válcového tvaru složený z ocelových plechů, ve kterých jsou vyraženy drážky pro vinutí. Každá fáze je pak umístěna v jedné třetině drážek po obvodu vzduchové mezery. Vinutí je pak vyvedeno na statorovou svorkovnici se šesti svorkami. Celá konstrukce musí být dostatečně pevná, protože vzduchová mezera těchto strojů musí být co nejmenší, řádově v milimetrech.[3,5]

Simulace v softwarovém prostředí se volí proto, že motory často běží nepřetržitě (dílny, strojovny) a jejich odpojení pro možnosti vyzkoušení je téměř nemožné (často i velmi neekonomické) anebo taky motory jsou ve stádiu, kdy se teprve tvoří a tak potřebujeme znát jejich chování při určitých podmínkách.

V této bakalářské práci jsem se pak zaměřil na program Matlab, především na jeho nadstavbovou část – Simulink, ve které lze pomocí jednotlivých bloků simulovat chování skutečného obvodu, včetně zapojeného asynchronního motoru. Mým úkolem bylo zjistit a analyzovat vlastnosti speciálních bloků, z knihoven již už zmiňované nadstavbové části Matlabu-Simulink, které se dají, použít pro simulaci AC pohonů.

Neurčené speciální bloky jsem musel nejprve vyhledat v knihovnách Simulinku a poté udělat podrobný rozbor jejich vlastností, významu a nastavení při případném použití pro simulaci AC pohonů.

Po nalezení a popsání jednotlivých bloků jsem udělal dva simulační obvody – nejprve jsem udělal napájení pomocí standardních bloků z knihovny Matlab-Simulink a poté pomocí mnou vytvořeného bloku napětového střídače.

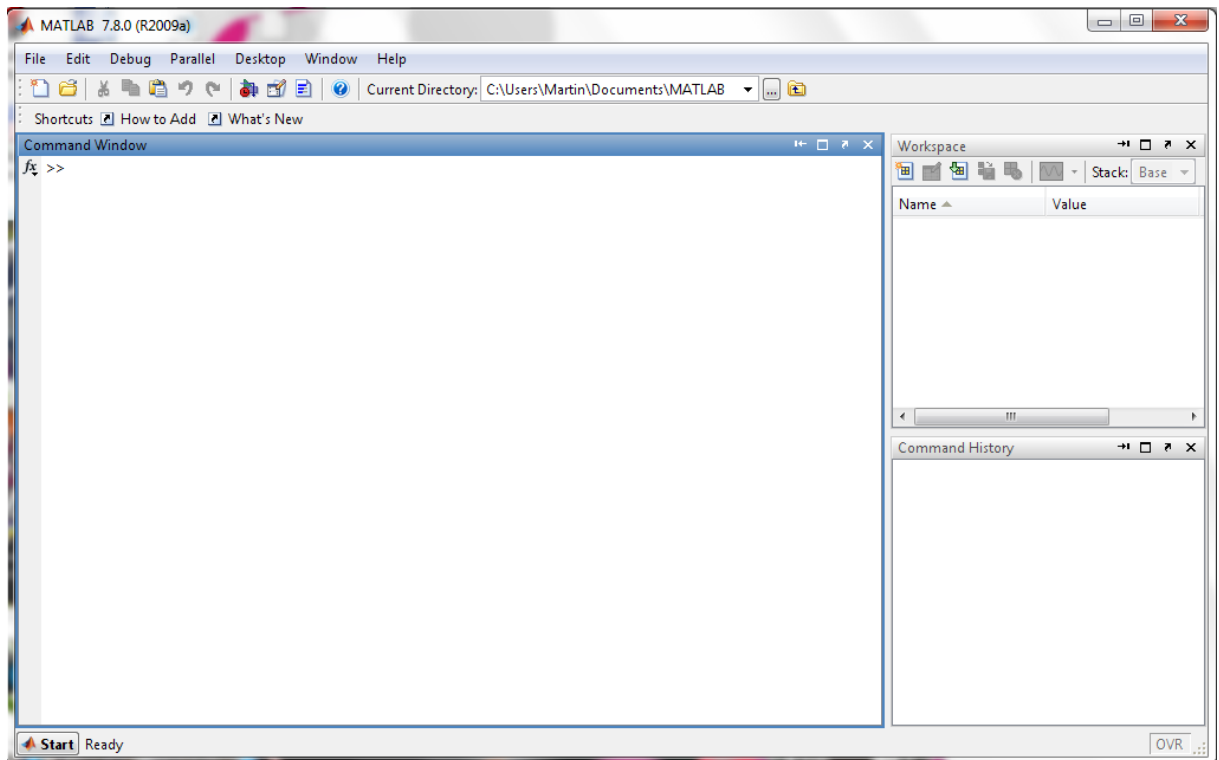
2 Popis programu a prostředí

2.1 Matlab

Matlab je programovací jazyk pro matematické výpočty. Název tohoto programu je odvozen z překladu anglického dvousloví Matematic Laboratory. Původně byl tento program určen pro počítání s maticemi, ale po přidání dalších knihoven se z něj stal plně využitelný nástroj pro nejen matematické výpočty a operace. Matlab umožňuje snadnou a rychlou práci s maticemi reálných nebo komplexních čísel. Zároveň umí vypočítané výsledky graficky znázornit.[7]

Kromě matematických výpočtů, lze Matlab použít také pro:

- modelování a simulaci obvodů, jevů
- vývoj algoritmů
- analýzu dat, vizualizaci



Obr. 2.1.1 Základní okno programu Matlab

Základní okno v Matlabu je složeno z několika částí (viz. níže) a má jednoduché a přehledně rozdělené uživatelské prostředí. Příkazy, výsledky, a případné chyby se zde objevují formou textu.

Skládá se obvykle z těchto tří částí:

- **Command window** (příkazové okno) – hlavní část pracovní plochy Matlabu, zde se zadávají příkazy, zobrazují se zde textově výsledky, popřípadě chyby. Po zadání příkazu se ihned v tomto okně objeví vyhodnocení.
- **Workspace** – zde se objevují všechny dostupné proměnné pracovního prostředí. Taktéž toto okno umožňuje práci s proměnnými (smazání proměnné, zobrazení hodnoty proměnné, uložení všech proměnných do souboru)
- **Command history** – je historie příkazů, které jsme do Command window zadali. Každé spuštění programu je označeno datem a časem (zelený text mezi procenty). Umožňuje opětovné spuštění dříve zadaných příkazů a úpravu/opravu dříve zadaných příkazů.

Poznámka: okno Command History nemusíme používat, protože v Command Window lze listovat použitými příkazy s použitím šipek (Up, Down). Pokud před stiskem šipky napíšeme začátek hledaného použitého příkazu (alespoň jeden znak), listuje se jen v názvech těch příkazů, které začínají napsaným textem.[1]

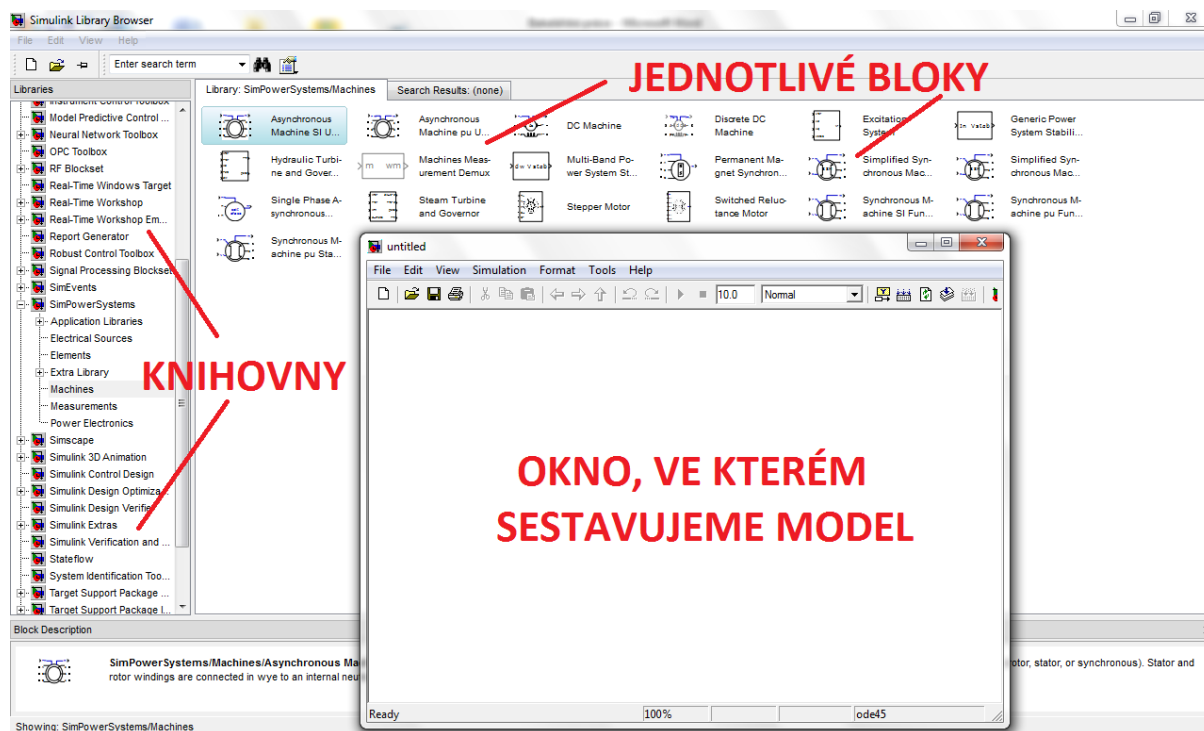
Kterékoliv okno lze jednoduše křížkem vypnout a kdykoliv opět zapnout (zobrazit) zaštknutím požadovaného okna v nabídce Desktop.

2.2 Simulink

Simulink je nadstavba Matlabu, přidané grafické simulační prostředí, ve kterém lze snadno zobrazit grafické výstupy různých modelů a simulovaných obvodů. Lze v něm analyzovat různé modely ve spojitém či diskrétním čase, nebo taky obou dohromady.

Simulink obsahuje spousty knihoven, které obsahují téměř veškeré lineární a nelineární komponenty, zdroje, spotřebiče, konektory a zobrazovací prvky. Pokud by nám náhodou nějaký blok přesto chyběl, můžeme si ho vytvořit. Pomocí zobrazovacích prvků, kterých je v Simulinku nespočet, můžeme vidět výsledky simulací námi zadaného modelu. Při simulacích navíc můžeme měnit jednotlivé parametry a zkoumat jejich vlivy na celkový model či na jednotlivé části modelu. Simulink také umožňuje spouštět určité části simulačního schématu na základě výsledku logické podmínky. Tyto spouštěné a povolované subsystémy umožňují použití programu v náročných simulačních experimentech.[7]

Výsledky simulací nemusíme nutně zobrazit přímo v Matlabu, můžeme je uložit do textové podoby (do Workspace) a v jiném textovém editoru upravit. Nebo pokud textový editor, ve kterém upravujeme výsledky, podporuje tvorbu grafů z textových údajů, můžeme v něm přímo z naměřených hodnot taktéž udělat grafický výstup i když nejsme přímo v Simulinku.



Obr. 2.2.1 Prostředí Simulinku

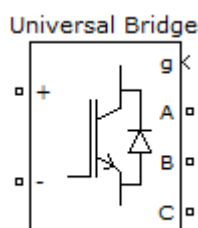
Prostředí Simulinku se skládá ze:

- Libraries (Knihovny) – zde jsou jednotlivé komponenty, zdroje, spotřebiče, grafické výstupy, konektory
- Jednotlivých bloků – zobrazí bloky v aktuální knihovně
- Okno pro sestavení modelu – otevírá se v nabídce File-> New-> Model, popřípadě klávesovou zkratkou CTRL + N. Model se sestavuje přetažením jednotlivých bloků z knihovny do tohoto okna.

3 Popis nalezených a použitelných bloků pro napájení AC pohonů

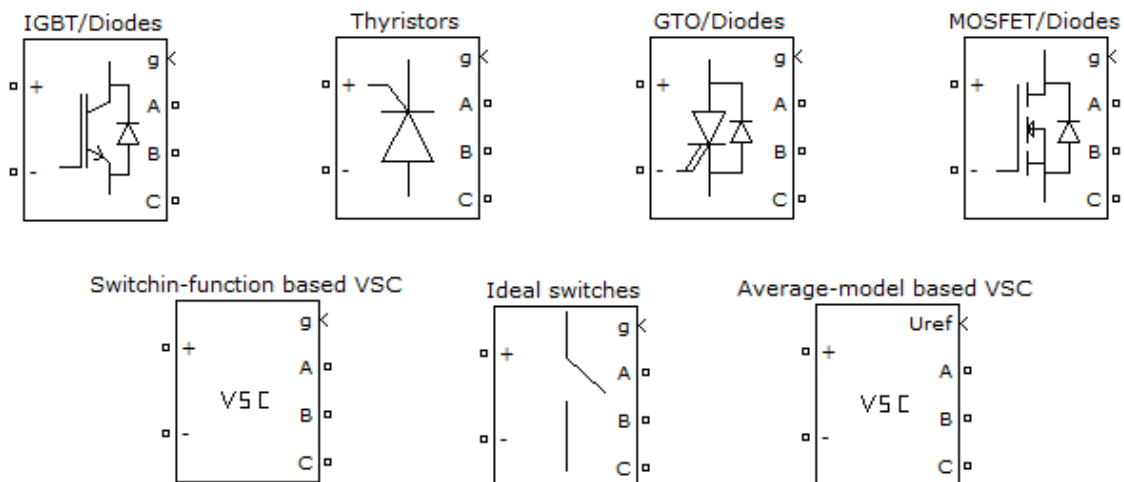
3.1 Měniče pro napájení AC pohonů

V knihovně Simulinku jsem našel měniče, které můžeme použít pro napájení AC pohonů. Pro tento účel je v Simulinku (v knihovně SimPowerSystems, podknihovna Power Electronics) blok Universal Bridge, což lze volně přeložit jako „universální most“ – což znamená, že není jen jednotvárný, ale lze jej přepojit (nastavit) na další zařízení.



Obr. 3.1.1 Blok Universal Bridge

Tento blok v sobě implementuje 8 různých druhů zapojení, pro změnu zařízení stačí změnit položku Power Electronic device (viz kapitola 3.1.1 – Nastavení a význam jednotlivých parametrů bloku Universal Bridge).



Obr. 3.1.2 Bloky obsažené v bloku Universal Bridge

Z těchto 8 druhů zapojení, je ale jedno zapojení s diodami, což pro mou práci je nevyhovující, jelikož potřebujeme, aby na výstupu měniče bylo střídavé napětí. A pouze diody, v zapojení jen mezi sebou, tomuto nevyhovují, jelikož na jejich výstupu je napětí usměrněné a nelze je nijak spínat či vypínat.

3.1.1 Nastavení a význam jednotlivých parametrů bloku Universal Bridge

Popíši tedy jednotlivé bloky, jak je nastavit a co přesně znamenají jednotlivé parametry, které u daného bloku můžeme nastavit.

Nejprve uvedu seznam všech parametrů, které se mohou při nastavování bloků objevit a význam těchto jednotlivých parametrů:

- **Number of Bridge arms** - (počet větví) – lze nastavit v rozmezí 1 až 3. Tímto parametrem nastavíme počet větví a spínacích prvků. Pokud volíme 1 nebo 2 dostaneme jednofázové měniče (dva nebo čtyři spínače), když zvolíme 3, dostaneme třífázový měnič (šest spínačů).
- **Snubber resistance R_s (Ohms)** – (tlumicí odpor v Ohmech) – nastavuje se v rozsahu do *inf* (nekonečno). Nastavte libovolnou hodnotu pro útlum vašeho modelu.
- **Snubber capacitance C_s (F)** – (tlumicí kapacita ve Faradech) - nastavuje se hodnota 0 pro eliminaci útlumu nebo hodnota *inf* pro získání odporové vlastnosti. Aby se zabránilo oscilaci, když je systém diskretní, musí se zadat specifické hodnoty R_s a C_s .
- **Power electronic device** – v tomto poli lze vybrat součástky výkonové elektroniky, které budou použity v můstku. Na výběr je z těchto možností: ideální spínač, diody, tyristory, pak GTO, MOSFET a IGBT v kombinaci s antiparalelními diodami. Poslední dvě varianty jsou Switching-function based VSC (tento model může představovat správně generované harmonické) a Average-model base VSC (zde jsou neharmonické, používá větší dobu vzorkování).
- **L_{on} (Henries)** – je vnitřní indukčnost pro diody a tyristory. Pokud je můstek diskretní, musí být tento parametr nastaven na nulu.
- **R_{on} (Ohms)** – je vnitřní odpor vybrané součástky použité v můstku, v Ohmech.
- **Forward voltage V_f [Devices $V_f(V)$, diode $V_{fd}(V)$]** – propustné napětí, ve voltech (V). Tento parametr se zobrazí, pokud je vybráno z nabídky, že budou použity GTO, MOSFET a IGBT v kombinaci s antiparalelními diodami. Když vybereme diody nebo tyristory bude nabídka zobrazena v tomto okně bez závorky --> **Forward voltage V_f .**
- **Measurements** – (měření) – v této nabídce, si můžeme vybrat druh případného měření, které chceme v obvodu bloku provádět. V obvodu pak musíme pro některé měření

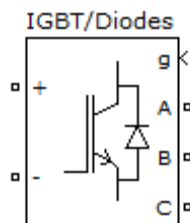
umístit blok Multimetr, který má své menu, a měření probíhá v něm. Pokud nechceme nic měřit, použije se volba *None*.

- **Vstupy a výstupy bloku**
 - g** - vstup pro spínání (u diod není, nelze spínat)
 - svorky +, -** vstup pro DC napětí
 - svorky A, B, C** – výstup jednotlivých fází

3.2 Jednotlivé bloky a k nim patřící nabídka nastavovaných parametrů

Z výše uvedeného výčtu a popisu všech nalezených bloků, uvádím v obrázcích (**Obr. 3.2.1 až 3.2.8**) schematické značky a okna pro nastavování parametrů každého bloku.

3.2.1 Blok IGBT/Diodes



Obr. 3.2.1 Schematická značka bloku IGBT/Diodes

Block Parameters: IGBT/Diodes

Universal Bridge (mask) (link)

This block implement a bridge of selected power electronics devices. Series RC snubber circuits are connected in parallel with each switch device. Press Help for suggested snubber values when the model is discretized. For most applications the internal inductance L_{on} of diodes and thyristors should be set to zero

Parameters

Number of bridge arms: 3

Snubber resistance R_s (Ohms)
1e5

Snubber capacitance C_s (F)
10

Power Electronic device IGBT / Diodes

R_{on} (Ohms)
1e-3

Forward voltages [Device $V_f(V)$, Diode $V_{fd}(V)$]
[0 0]

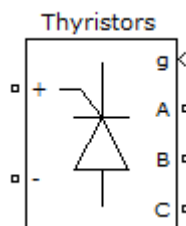
[$T_f(s)$, $T_t(s)$]
[1e-6 , 2e-6]

Measurements None

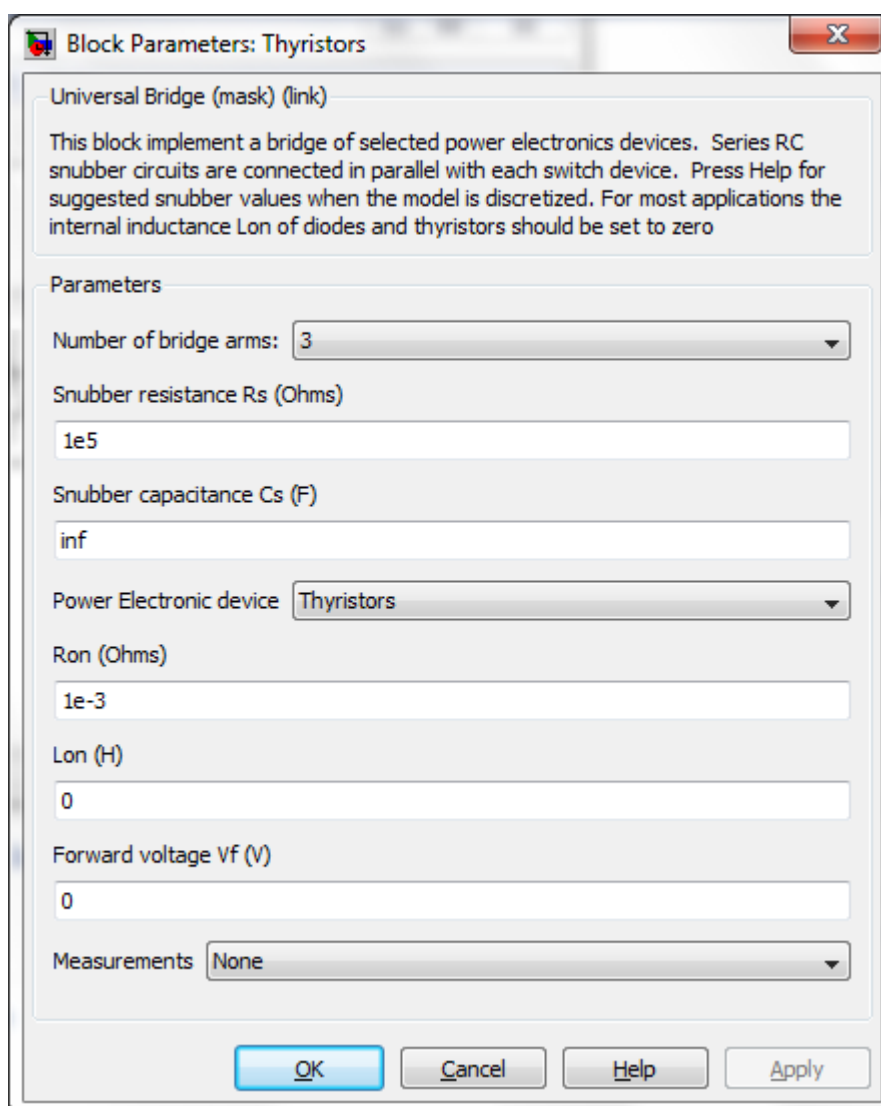
OK Cancel Help Apply

Obr. 3.2.2 Okno pro nastavení parametrů bloku IGBT/Diodes

3.2.2 Blok Thyristors

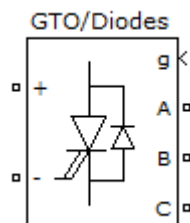


Obr. 3.2.3 Schematická značka bloku Thyristors



Obr. 3.2.4 Okno pro nastavení parametrů bloku Thyristor

3.2.3 Blok GTO/Diodes



Obr. 3.2.5 Schematická značka bloku GTO/Diodes

Block Parameters: GTO/Diodes

Universal Bridge (mask) (link)

This block implement a bridge of selected power electronics devices. Series RC snubber circuits are connected in parallel with each switch device. Press Help for suggested snubber values when the model is discretized. For most applications the internal inductance L_{on} of diodes and thyristors should be set to zero

Parameters

Number of bridge arms: 3

Snubber resistance R_s (Ohms)
1e5

Snubber capacitance C_s (F)
inf

Power Electronic device GTO / Diodes

R_{on} (Ohms)
1e-3

Forward voltages [Device $V_f(V)$, Diode $V_{fd}(V)$]
[0 0]

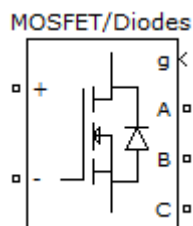
[$T_f(s)$, $T_t(s)$]
[10e-6 , 20e-6]

Measurements None

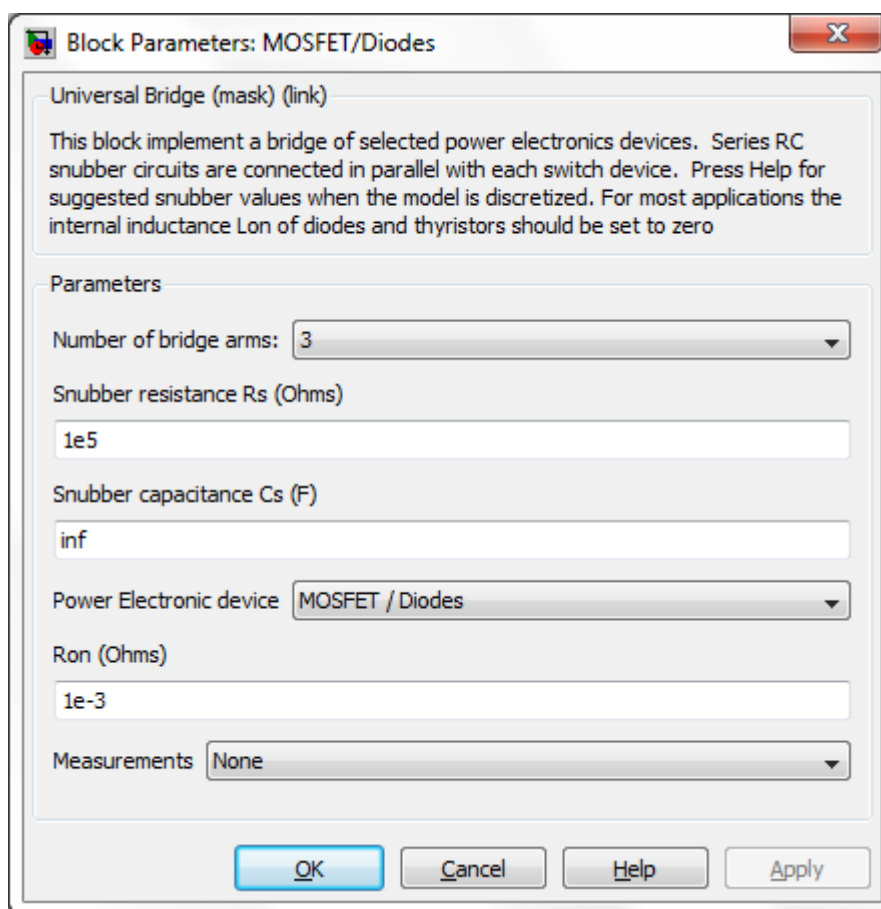
OK Cancel Help Apply

Obr. 3.2.6 Okno pro nastavení parametrů bloku GTO/Diodes

3.2.4 Blok MOSFET/Diodes



Obr. 3.2.7 Schematická značka bloku MOSFET/Diodes



Obr. 3.2.8 Okno pro nastavení parametrů bloku MOSFET/Diodes

Blok Ideal switch má pak už totožné nastavení jako blok MOSFET/Diodes. Ostatní zbylé dva bloky mají implementované nastavení již v sobě a lze zvolit pouze počet větví, a jestli bude probíhat měření pomocí Measurements.

3.3 Asynchronní motor

Následně jsem vybral blok Asynchronous Machine, což je dynamický blok tří fázového asynchronního stroje. Někdy se také místo výrazu asynchronní stroj používá výraz indukční stroj.



Obr. 3.3.1 Schematické značení bloku asynchronního motoru

Tento blok se může chovat buď jako motor nebo jako generátor, záleží na tom, jak je zadán parametr T_m , což je mechanický moment. Pokud je T_m kladné blok se chová jako motor, je-li T_m záporné, blok se chová jako generátor.

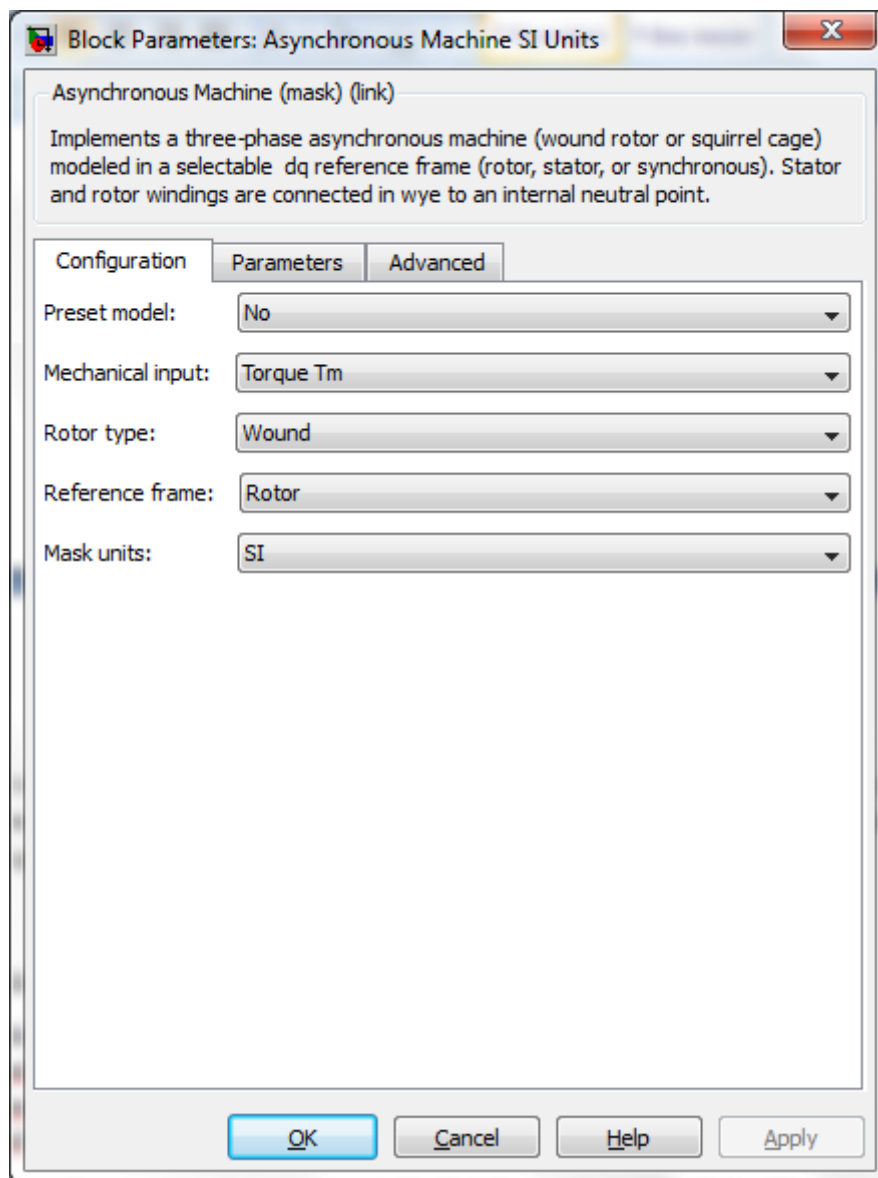
Na vstupu tohoto bloku musí být vždy elektrický signál, jiný signál nelze na vstupní svorky bloku připojit (toto jsem pak musel ošetřit v simulaci v **kapitole 4.2** pomocí bloku kontroly napětí). Výstup m z tohoto bloku se připojuje k linkovému voliči (bus selektoru) a můžeme z něj dostat následující hodnoty:

Pro stator a rotor:

- Statorové a rotorové proudy $i_{s\ a}$, $i_{s\ b}$, $i_{s\ c}$ (proudy fází) a proud příčný i_q a podélný i_d
- Toky rotoru a statoru
- Napětí statoru a rotoru

Mechanické parametry:

- Mechanická rychlost motoru Ω_m
- Elektromagnetický moment motoru M_e
- Úhel natočení motoru Θ_m



Obr. 3.3.2 Nastavování bloku Asynchronous Machines – část Configuration

3.3.1 Nastavení a význam jednotlivých parametrů bloku Asynchronous Machine

U tohoto bloku je nastavení rozděleno v dialogovém okně do tří záložek:

- Configuration – základní nastavení bloku
- Parameters – nastavení jednotlivých parametrů
- Advanced – pokročilé nastavení

Postupně si rozebereme a popíšeme význam jednotlivých výrazů v každé záložce. Nejprve začneme nabídkou Configuration:

- **Preset model** – zde lze nastavit různé typy již předem nadefinovaných parametrů pro asynchronní stroj. Na výběr je asi z 20 různých typů, jednotlivé typy mají zadány parametry síly (v HP –horse power, koňská síla), napětí mezi fázemi (ve voltech – V), frekvence (Hz) a otáčky za minutu (RPM – revolutions per minutes). V této položce nemusíme nutně zvolit předem nadefinovanou možnost, ale pokud dáme možnost **No**, můžeme si model sami nadefinovat.
- **Mechanical input** – v této položce můžeme nastavit dva parametry a to buď T_m nebo w .
Pokud zvolíme T_m (moment, v N.m nebo pu) je rychlost otáček, určena setrvačností. Záleží zde na znaménku, pokud je moment kladný, blok se chová jako motor, pokud je záporný, blok se chová jako generátor.
Druhou možností tj. w je rychlost otáčení vstupu určena v rad/s nebo pu. Při této možnosti je mechanická část modelu ignorována.
- **Rotor type** – určuje větvení pro vinutí rotoru
- **Reference frame** (vztažná soustava) – zde je na výběr ze tří prvků – Rotor (Parkova transformace), Stacionary (stacionární, Clarkova transformace) a Synchronous (synchronní).

Mask units – (v SI nebo pu) - určuje jednotky elektrických a mechanických parametrů modelu. Tento parametr nelze nastavit, je určený pouze pro informační účely. Pokud bychom chtěli tuto možnost nastavit, musíme si vybrat celý blok právě v těchto jednotkách.

3.3.2 Popis nabídky Parameters

- **Nominal power, voltage (line-line), and frequency** - jmenovitý zdánlivý výkon P_n (VA), RMS napětí mezi jednotlivými větvemi V_n (V) a frekvence f_n (Hz)
- **Stator resistance and inductance** – odpor statoru R_s (Ω nebo pu) a indukčnost L_{ls} (H nebo pu)
- **Rotor resistance and inductance** – odpor rotoru R_r' (Ω nebo pu) a indukčnost L_{lr}' (H nebo pu)
- **Mutual inductance** – magnetická indukčnost L_m (H nebo pu)
- **Inertia constant, friction factor, and pole pairs** – rozlišuje se, jestli je model pro SI nebo pro pu (poměrné jednotky). Pro SI – moment setrvačnosti J (kg.m^2), koeficient tření F (N.m.s), póly párů p . Pro pu setrvační konstanta H (s), koeficient tření F (pu) a póly párů p .

- **Initial conditions** – určuje počáteční skluz s , elektrický úhel θ_e (ve stupních), velikost proudu statoru (A nebo pu) a fázové úhly (ve stupních).
- **Simulate saturation** – určuje, zda magnetické nasycení železa rotoru a statoru je simulováno nebo není.
- **Saturation parameters** – určuje parametry naprázdno nasycení křivky. Musí se zadat 2-n matice kde n je počet odebraných z nasycení křivky. První řádek této matice obsahuje hodnoty statorových proudů, zatímco druhý řádek obsahuje hodnoty odpovídající svorkovému napětí statoru. První sloupec musí odpovídat bodu, kdy vliv nasycení začíná.
To vše lze nastavit pouze tehdy, je-li vybráno Simulate saturation, pokud není vybráno, vztah mezi statorovým proudem a napětím statoru je lineární.

Block Parameters: Asynchronous Machine SI Units

Asynchronous Machine (mask) (link)

Implements a three-phase asynchronous machine (wound rotor or squirrel cage) modeled in a selectable dq reference frame (rotor, stator, or synchronous). Stator and rotor windings are connected in wye to an internal neutral point.

Configuration Parameters Advanced

Nominal power, voltage (line-line), and frequency [Pn(VA), Vn(Vrms), fn(Hz)]:

[7.46e+004 460 60]

Stator resistance and inductance [Rs(ohm) Lls(H)]:

[0.03957 0.000389]

Rotor resistance and inductance [Rr'(ohm) Llr'(H)]:

[0.02215 0.000389]

Mutual inductance Lm (H):

0.01664

Inertia, friction factor and pole pairs [J(kg.m^2) F(N.m.s) p0]:

[1.3 0.05543 2]

Initial conditions

[1 0 0 0 0 0]

☒ Simulate saturation

Saturation Parameters [i1,i2,... (Arms) ; v1,v2,...(VrmsLL)]

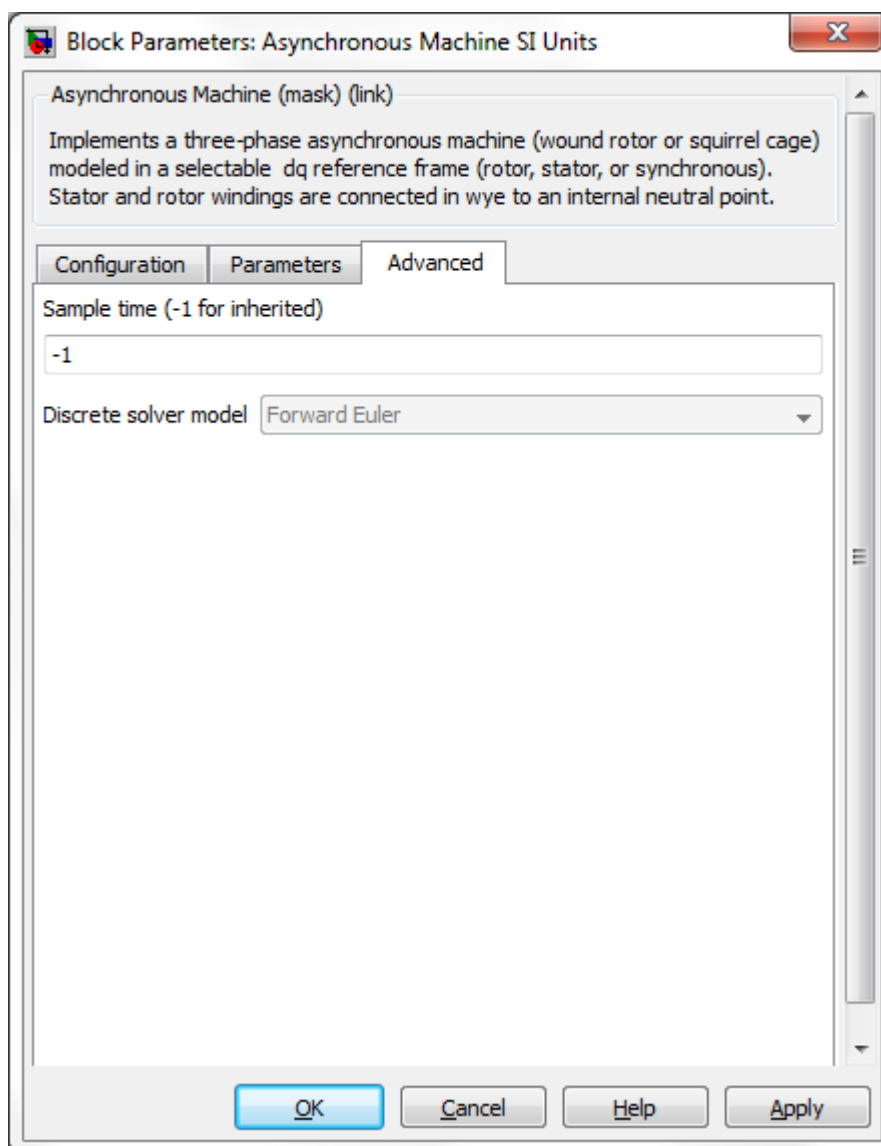
51, 302.9841135, 428.7778367 ; 230, 322, 414, 460, 506, 552, 598, 644, 690]

OK Cancel Help Apply

Obr. 3.3.3 Nastavování bloku Asynchronous Machines – část Parameters

3.3.3 Popis nabídky Advanced

- **Sample time (-1 for inherited)** – určuje čas vzorkování. Tato hodnota by měla být nastavena na -1. Možno ji nastavit i na jinou hodnotu, ale ta musí být vyčtena z Powergui - příručka jednotlivého bloku (viz dále **kapitola 3.4**).



Obr. 3.3.4 Nastavování bloku Asynchronous Machines – část Advanced

3.4 Blok Powergui

Je to blok, který je vlastně taková dodatečná příručka pro modely z knihovny SimPowerSystems a je nezbytný pro simulaci všech modelů z této knihovny.

Tento blok umožňuje použít jednu z následujících variant:

- Kontinuální metoda (Spojitá metoda)
- Ideální spínací režim
- Diskretizace elektrického systému pro řešení ve stanovených časových krocích
- Pomocí fázorového řešení



Obr. 3.4.1 Změna schematické značky bloku Powergui při výběru jednotlivých metod

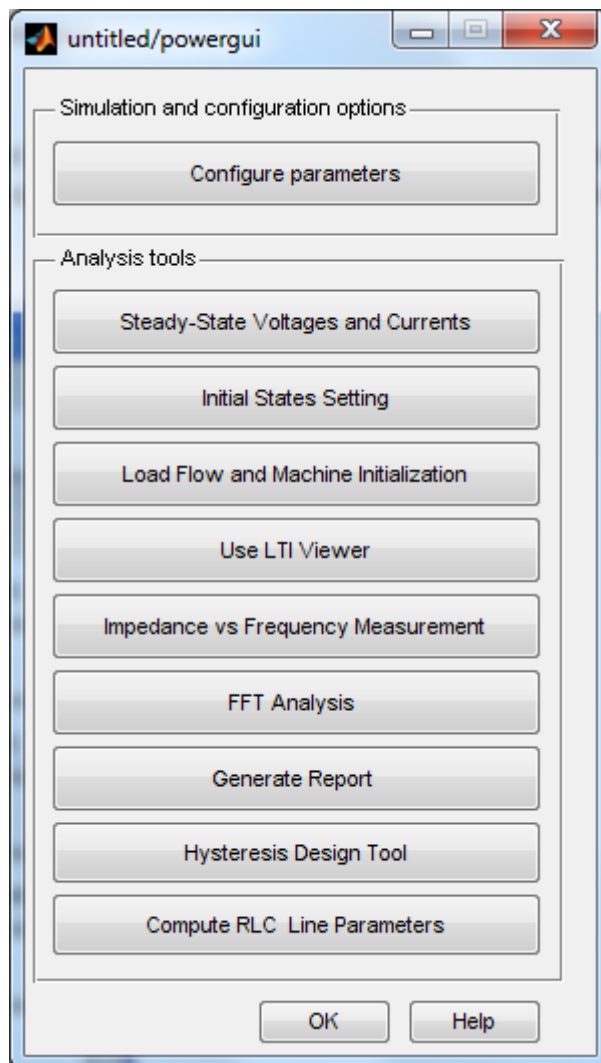
Pokud chceme správně použít blok Powergui v modelu, musí se postupovat vždy podle těchto pravidel:

- Umístit blokové schéma Powergui vždy na nejvyšší úroveň modelu (tzn., pokud je model, který obsahuje více podsystémů, umísťuje se tento blok vždy na jeho hlavní část). Dosáhne se tak toho, že při výpočtech bude mít tento blok optimální výkon a nebude příliš zdržovat.
- V modelu může být maximálně jeden blok Powergui

Powergui umožní přístup ke grafickému rozhraní, které nabízí nástroje a funkce pro ustálený stav analýzy modelů SimPowerSystems, dále pak pro analýzu výsledků simulace a pro návrh pokročilých blokových parametrů.

Základní dialogové okno bloku Powergui je rozčleněno na dvě hlavní oblasti (nabídky) :

- **Simulace a možnosti konfigurace** – Chceme-li určit simulační typ, parametry a předvolby, zvolíme Nastavení parametrů v dialogovém okně. Otevře se další dialogové okno s parametry. Toto nově otevřené okno má dvě záložky; první je **Solver** (kde nastavujeme metodu, jakou chceme použít) a druhá je **Preferences** (předvolby).
- **Analytické nástroje** – jednotlivé druhy analýz, které lze provést v zadaném modelu.



Obr. 3.4.2 Základní dialogové okno bloku Powergui

3.4.1 Nabídka Simulace a možnosti simulace

Popis a význam jednotlivých parametrů v záložce **Solver a Preferences** :

- **Simulation type (typy simulací)** :
 - a) Kontinuální metodu zvolíme, pokud chceme provádět průběžné řešení modelu
 - b) Diskrétní metodu zvolíme, pokud chceme provést diskretizaci modelu.
Sample time je čas vzorkování
 - c) Fázorové řešení zvolíme pro provedení fázorové simulace modelu, na frekvenci určené parametrem **Phasor frequency** (fázorová frekvence)

- **Enable use of ideal switching device** - Pokud povolíme použití ideálního spínače, jsou vypínače a elektronické bloky modelovány na základě jiné metody umožňující ideální spínání. Tento parametr je však dostupný pouze tehdy, je-li typ simulace nastavený na Kontinuální metodu.

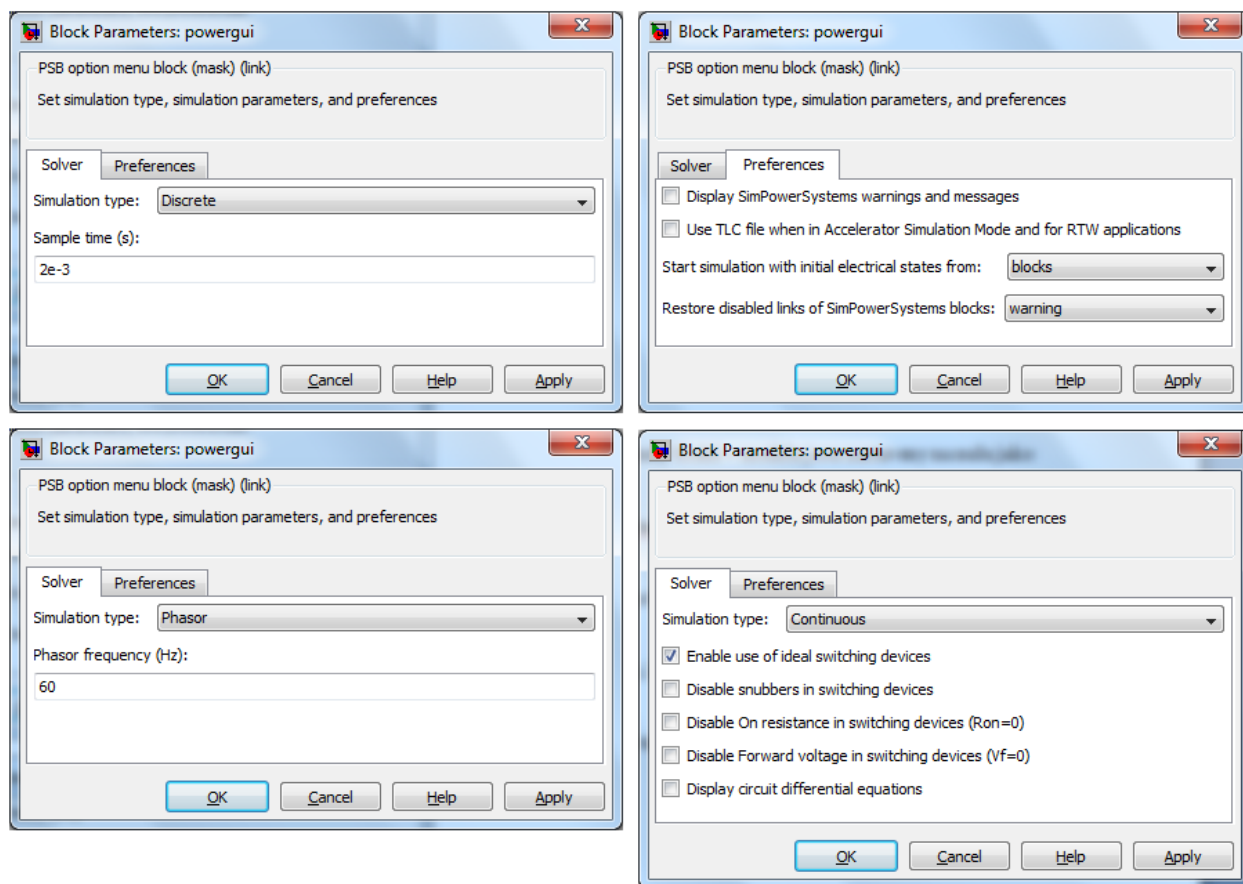
Pro následující čtyři parametry platí to, že jsou viditelné, pouze pokud je zatrhnut předchozí parametr, tj. použití ideálního spínače:

- **Disable snubbers in switching device** (útlum ve spínacích zařízeních) – je-li zatrhnuto, je útlum v zařízeních a elektrotechnických blocích v modelu zakázán a není součástí modelu.
- **Disable On resistance in switching devices ($R_{on}=0$)**, (odpor na spínacích zařízeních) – pokud je zatržena tato volba, je vnitřní odpor všech spínacích a výkonových elektronických zařízení v modelu vypnut a stanoven na nulu.
- **Disable Forward voltage in switching devices ($V_f=0$)** (napětí v propustném směru ve spínacích zařízeních)- je-li vybráno, je vnitřní napětí v propustném směru V_f všech výkonových elektronických zařízení v modelu vypnuto. Je nastaveno na 0 V.
- **Display circuit differential equations** (zobrazení diferenciálních rovnic)- pokud vybereme tuto možnost, zobrazí se diferenciální rovnice při začátku simulace v okně příkazového řádku.

Pro další parametry již nemusí být zatrhnut parametr ideálního spínače:

- **Display SimPowerSystems warnings and messages** – příkazové řádky a varovné zprávy jsou povoleny během simulace modelu.
- **Start simulation with initial electrical states from** (začátek simulace s počátečním stavem)- zde je na výběr ze tří možných počátečních stavů:
 - a) **Blocks** – pokud je vybráno, jsou jako počáteční stav použity hodnoty definované v jednotlivých blocích modelu
 - b) **Steady** – pokud je zvoleno, nutí se všem blokům jako počáteční hodnoty ustálené stavy.
 - c) **Zero** – všechny počáteční hodnoty bloků v modelu jsou nastaveny na nulu jako počáteční stav
- **Restore disabled links of SimPowerSystems blocks** (obnovení vazeb bloků) – i u tohoto parametru lze vybrat ze tří možností:
 - a) **yes** – blok Powergui zjistí, které bloky mají zakázaný odkaz na start simulace a automaticky toto spojení obnoví.
 - b) **warning** - blok Powergui zjistí, které bloky mají zakázaný odkaz na start simulace a zobrazí varovnou zprávu.

c) **no** – bloky nebudou rozpoznávány, ani to, zda mají odkaz na začátek simulace a nebude se nic zobrazovat ani opravovat



Obr. 3.4.3 Všechny možnosti pro nastavování parametrů bloku Powergui

3.4.2 Nabídka Analytické nástroje

Stručný popis a význam jednotlivých analýz, které blok Powergui nabízí:

- **Steady-State Voltages and Currents** (napětí a proudy v ustáleném stavu) – zobrazí nástroj, který zobrazuje napětí a proudy modelu v ustáleném stavu.
- **Initial States Setting** (nastavení počátečních stavů) – umožňuje zobrazit a upravovat počáteční napětí a proudy kondenzátoru.
- **Load Flow and Machine Initialization** (tok a zatížení stroje)- otevře okno pro zatížení toku a vyvolání třífázových sítí obsahující třífázové stroje tak, aby simulace začínala v ustáleném stavu.

- **Use LTI Viewer** - pokud je nainstalováno Control Toolbox Systém je automaticky otevřeno LTI rozhraní pro analýzu času a frekvenční oblasti.
- **Impedance vs Frequency Measurement** (impedance vs frekvenční měření) – nástroj pro zobrazení impedance oproti frekvenci definované blokem Měření impedance.
- **FFT Analysis** (frekvenční analýza)- nástroj k provedení Fourierovy analýzy signálu
- **Generate Report** (vytvořit zprávu)- umožní vytvořit zprávu o ustálených proměnných, počátečních stavech a toku v modelu
- **Hysteresis Design Tool** (nástroj pro návrh hystereze)- umožní navrhnout hysterezní charakteristiku jádra transformátoru a třífázového bloku transformátoru (pro dvě a tři vinutí).
- **Compute RLC Line Parameters** (výpočet RLC kabelu) – okno pro výpočet parametrů RLC nadzemního přenosového kabelu z vlastností jeho vodičů a podle geometrie věže (stožáru).

4 Simulace z nalezených bloků v prostředí Simulink

Některé nalezené bloky (popsány výše v **kapitole 3**) jsem pak následně využil pro simulaci v prostředí Simulink. Jednalo se o simulaci asynchronního motoru spolu s napěťovým střídačem.

Simulace je rozdělena do dvou částí:

- pomocí standardních bloků z knihovny Matlab-Simulink
- pomocí vlastních vytvořených bloků

Pro obě simulace se vycházelo z hodnot pro asynchronní motor uvedených v tabulce 4.1.

Zadané parametry pro asynchronní motor byly následující:

Jmenovitý činný výkon P_n	2,7 kW
Jmenovité statorové napětí U_n	400V
Frekvence f	60Hz
Odpor fáze statoru R_s	1,83Ω
Odpor fáze rotoru R_r	0,203 Ω
Rozptylová indukčnost fáze statoru L_s	0,008 H
Rozptylová indukčnost fáze rotoru L_r	0,008 H
Magnetická indukčnost M	0,129 H
Jmenovitý moment setrvačnosti J	0,013 kgm ²
Počet polpárů p	2
Jmenovitý $\cos \varphi$	0,75

Tabulka 4.1 Zadané parametry asynchronního motoru

4.1 Simulace s použitím vybraných standardních bloků

S použitím standardních bloků jsem vytvořil schéma (**Obr. 4.1.1**). U této první simulace jsem použil blok IGBT/Diodes (viz. kapitola **3.1.1**) pro vytvoření napěťového střídače. Jako vstup tohoto bloku je zvoleno stejnosměrné napětí 540V, protože toto napětí představuje usměrněné napětí meziobvodu. Uvažujeme totiž, že by šesti pulzní neřízený usměrňovač byl napájen fázovým napětím 3x400V.

Pak tedy platí podle vztahu pro šesti pulzní usměrňovač, že hodnota výstupního usměrněného napětí U_{dAV} je rovna:

$$U_{dAV} = 1,35 \cdot U = 1,35 \cdot 400 = 540V \quad (4.1 - 1)$$

Kde 1,35 je konstanta pro šesti pulzní usměrňovač (pro tří pulzní je pak 1,17 a dvoj pulzní 0,9).

Napěťový střídač, okno pro nastavení jeho vlastností je uvedeno na **Obr. 3.4**, jsem pak v tomto zapojení nastavil následovně:

- počet ramen jsem nastavil na tři, abych docílil šesti pulzního zapojení
- útlumový odpor R_s a útlumovou kapacitu C_s jsem stanovil podle vzorce:

$$C_s < \frac{P_n}{1000 \cdot (2\pi f) \cdot V_n^2} = \frac{3600}{1000 \cdot (2\pi 60) \cdot 400^2} \dots C_s < 7,4 \cdot 10^{-8} F \quad (4.1 - 2)$$

$$R_s > 2 \frac{T_s}{C_s} = 2 \frac{1 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-9}} \dots R_s > 400\Omega \quad (4.1 - 3)$$

kde P_n je výkon zařízení ve VA

V_n je hodnota fázového napětí ve voltech (V)

f je frekvence (Hz)

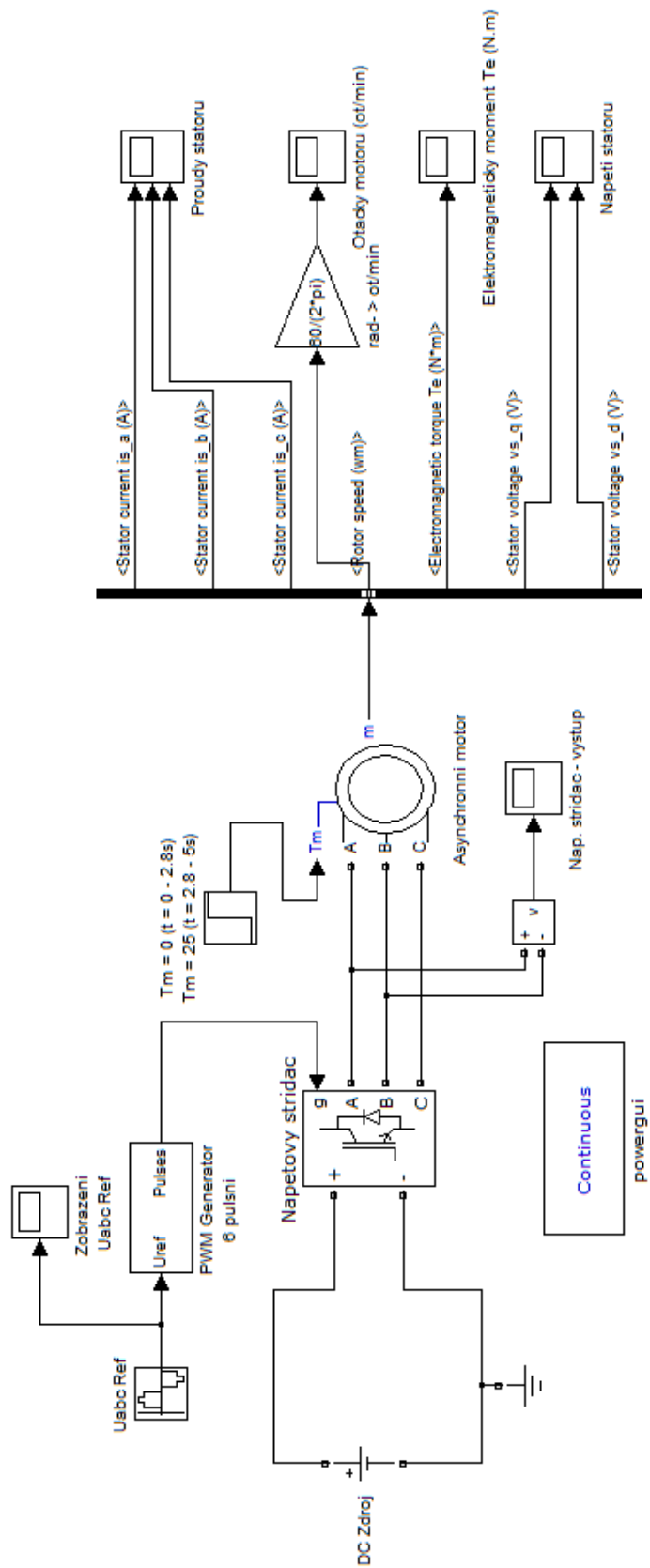
T_s je vzorkovací čas (s)

Pro hodnotu výkonu bylo potřeba přepočítat ještě činný výkon, který jsem měl zadaný na zdánlivý výkon, a to podle vztahu:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \dots \dots \dots S = \frac{2700}{0,75} = 3600VA \quad (4.1 - 4)$$

Podle vztahů **4.1-2** a **4.1-3** jsem pro střídač zvolil hodnotu $R_s = 1k\Omega$ a hodnotu $C_s = 5nF$.

Napěťový střídač je řízen přes vstup g pomocí PWM generátoru, který má nastavenou pracovní frekvenci na 1kHz. Vzorkovací čas tohoto bloku se musí nastavit stejný, jaký byl použit pro výpočty útlumového odporu R_s a útlumové kapacity C_s ve vztazích **4.1-2** a **4.1-3**. Jako vstup do PWM generátoru jsou přiváděna tři referenční (řídící) napětí - u_{ra} , u_{rb} , u_{rc} , které mají nastavenou amplitudu modulačního signálu na $m = 0,9$ (pro kterou platí $0 < m < 1$) a jsou mezi sebou vzájemně posunuty o 120° . Blok generátoru má v sobě taky zabudovanou možnost přepnutí na vnitřní modulaci a tudíž pak odpadá nutnost připojovat blok s referenčními napětími.



Obr. 4.1.1 Schéma zapojení pomocí standardních bloků

Při nastavování hodnot asynchronního motoru jsem vycházel a použil zadané hodnoty uvedené v **Tabulce 4.1**. I zde se ale musel přepočítat výkon podle vztahu 4.1-4. Výsledné okno s přesnými nastavenými hodnotami pak vypadá následovně:

Block Parameters: Asynchronni motor

Asynchronous Machine (mask) (link)

Implements a three-phase asynchronous machine (wound rotor or squirrel cage) modeled in a selectable dq reference frame (rotor, stator, or synchronous). Stator and rotor windings are connected in wye to an internal neutral point.

Configuration Parameters Advanced

Nominal power, voltage (line-line), and frequency [Pn(VA), Vn(Vrms), fn(Hz)]:

[3600 400 60]

Stator resistance and inductance [Rs(ohm) Lls(H)]:

[1.83 0.008]

Rotor resistance and inductance [Rr'(ohm) Llr'(H)]:

[0.203 0.008]

Mutual inductance Lm (H):

0.129

Inertia, friction factor and pole pairs [J(kg.m^2) F(N.m.s) p0]:

[0.013 0 2]

Initial conditions

[1 0 0 0 0 0 0]

☐ Simulate saturation

Saturation Parameters [i1,i2,... (Arms) ; v1,v2,...(VrmsLL)]

51, 302.9841135, 428.7778367 ; 230, 322, 414, 460, 506, 552, 598, 644, 690]

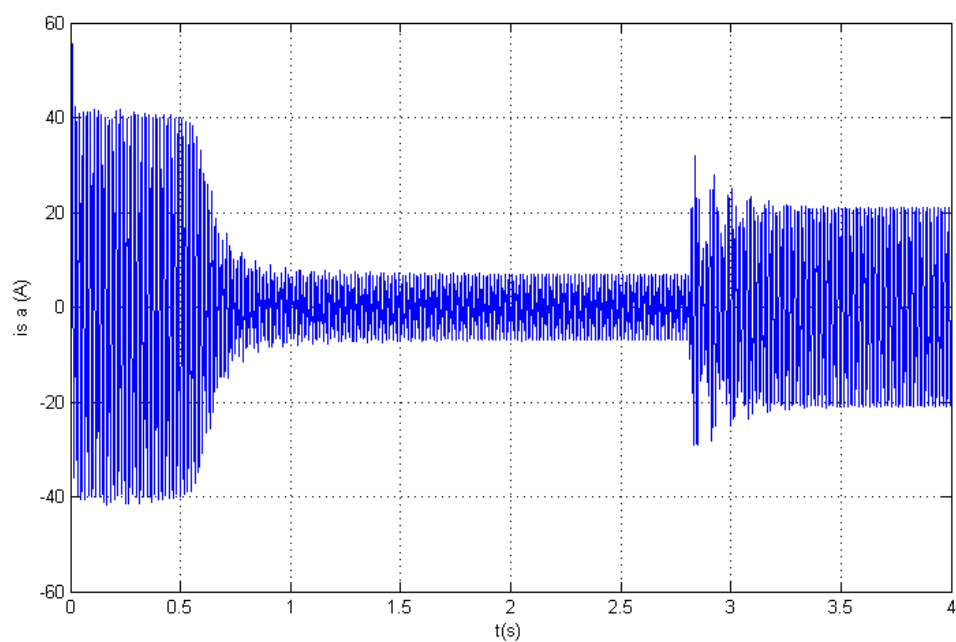
OK Cancel Help Apply

Obr. 4.1.2 Nastavené hodnoty asynchronního motoru

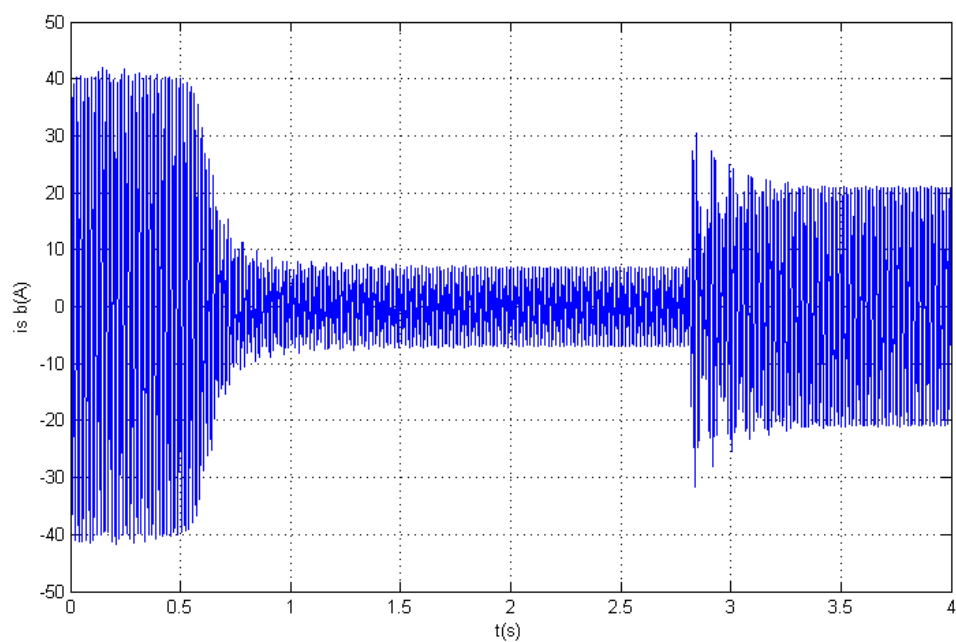
Do bloku asynchronního motoru (popis bloku v kapitole 3.3.1) vstupuje kromě napájení ze střídače i hodnota T_m – mechanický moment. Je nastavena, aby v čase $t = 0$ až 2,8 sekund byla jeho hodnota nulová a poté v čase $t = 2,8$ až 5 sekund skokově vystoupala na hodnotu 25 Nm.

Výstup bloku motoru m je pak připojen pomocí bus selektoru (linkového voliče) k zobrazovacím prvkům. Z něj pak byly zvoleny výstupní parametry, které jsem mohl zobrazit. Pro lepší přehlednost a popisy os jsem hodnoty ze simulace dal zapsat do Workspacu a následně až z těchto jsem vytvořil níže uvedené výstupy.

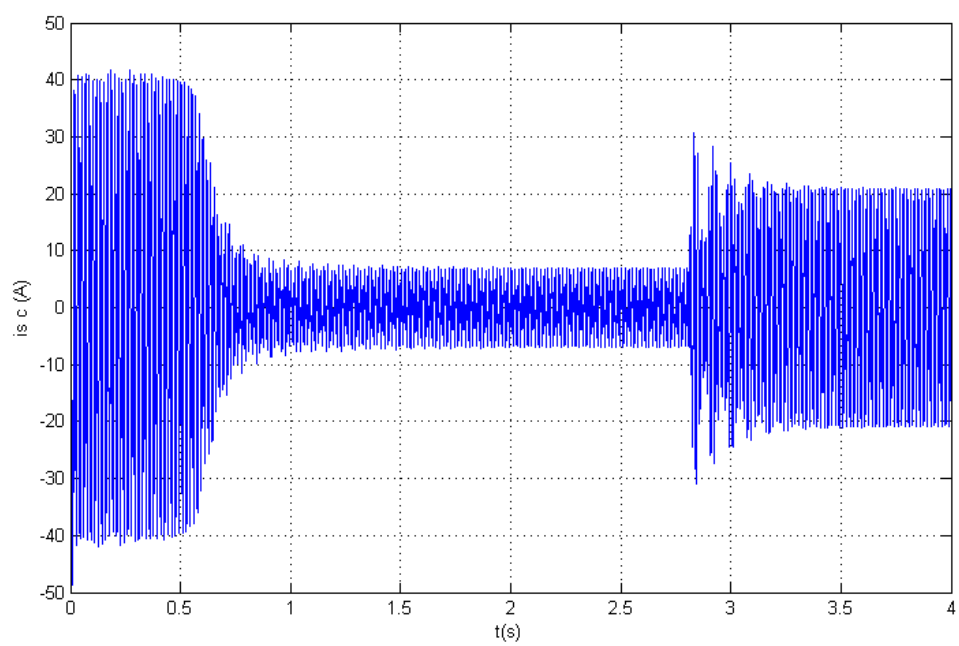
Výstupní zobrazené průběhy pak tvoří statorové proudy $i_{s a}$, $i_{s b}$, $i_{s c}$, otáčky motoru, elektromagnetický moment M_e , napětí statoru $U_{s \alpha}$ a $U_{s \beta}$ a výstup z napěťového střídače.



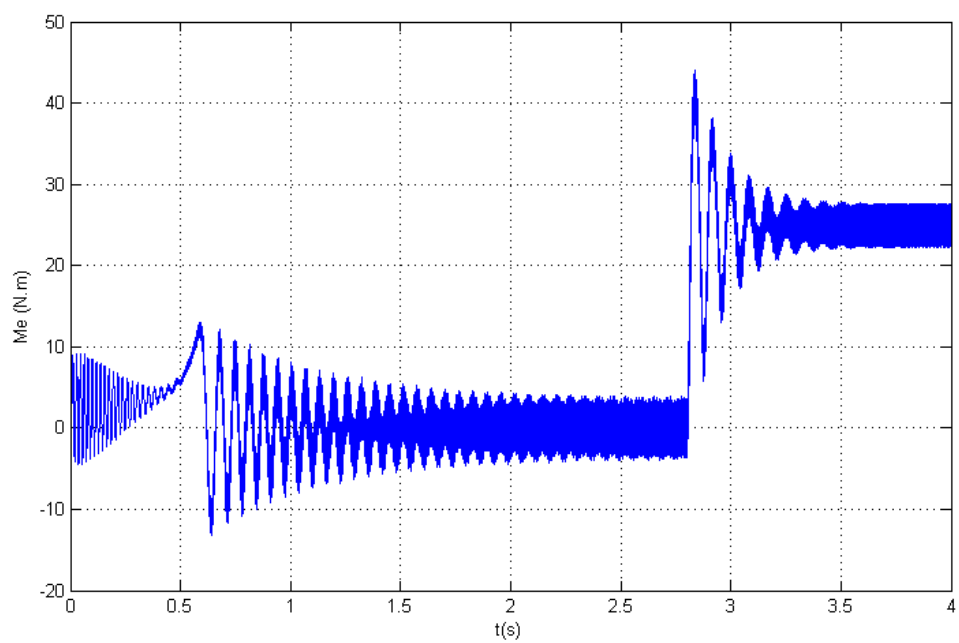
Obr. 4.1.3 Průběh statorového proudu $i_{s a}$



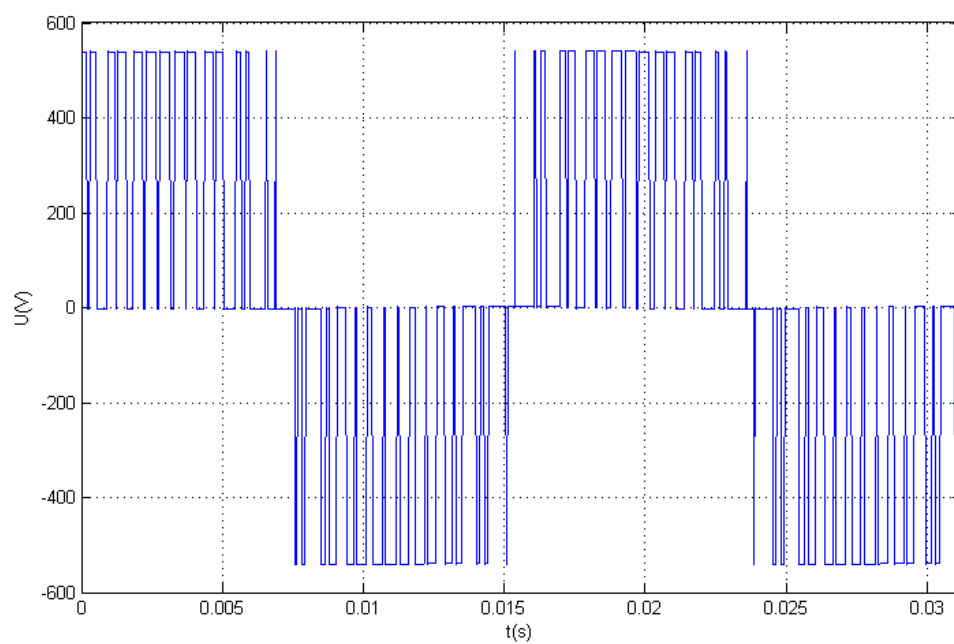
Obr. 4.1.4 Průběh statorového proudu $i_{s b}$



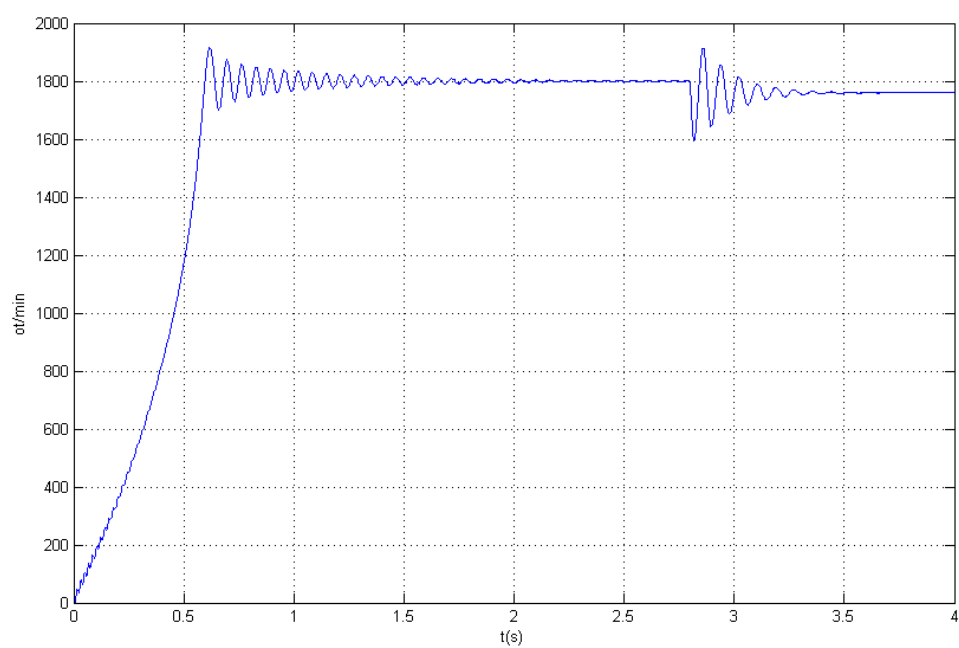
Obr. 4.1.5 Průběh statorového proudu $i_{s c}$



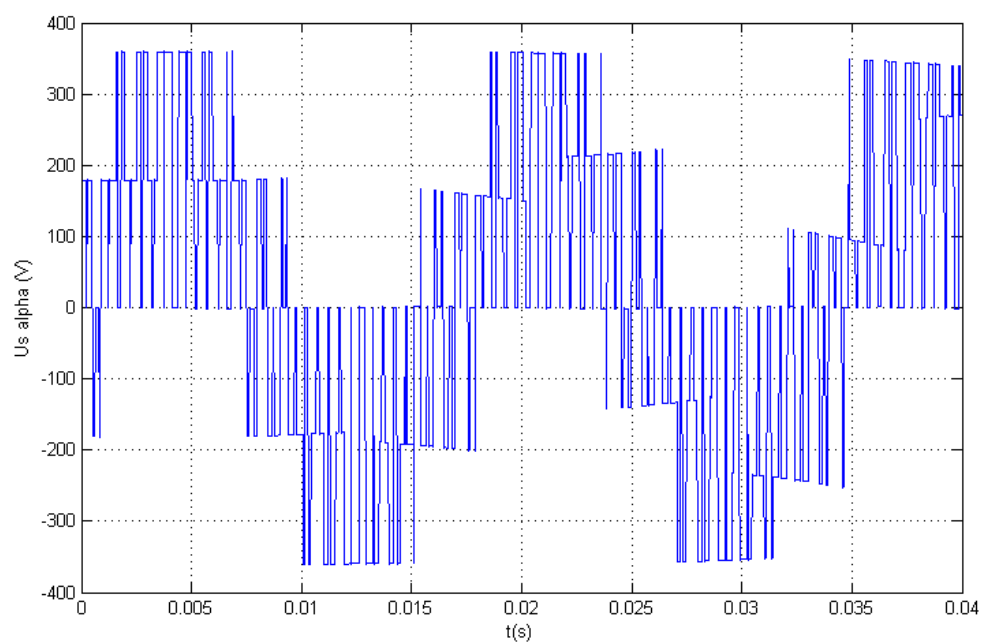
Obr. 4.1.6 Průběh elektromagnetického momentu M_e



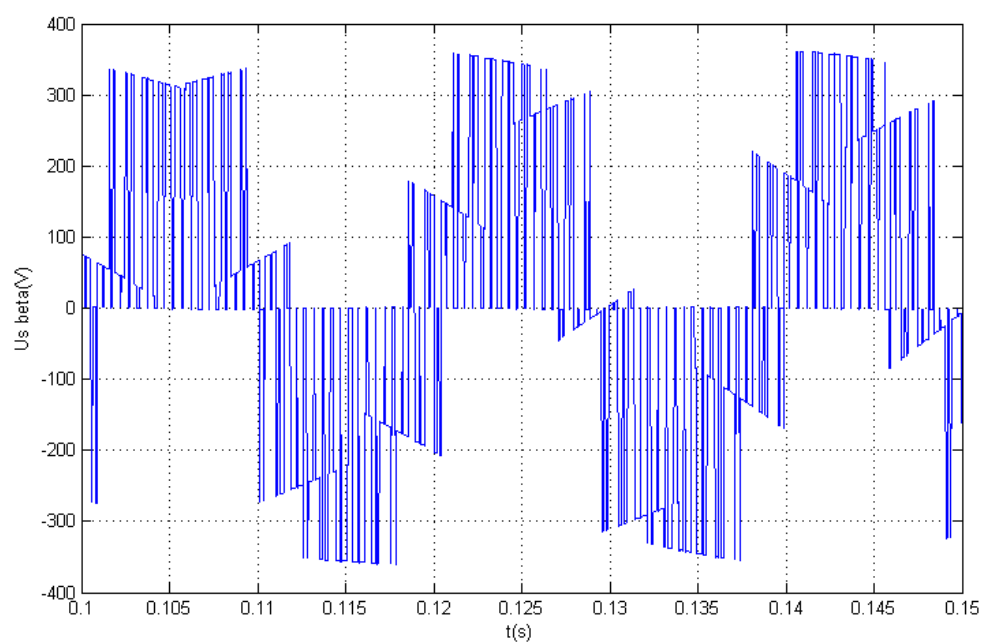
Obr. 4.1.7 Výstupní průběh z napěťového střídače



Obr. 4.1.8 Průběh otáček motoru



Obr. 4.1.9 Průběh statorového napětí $U_{s\alpha}$



Obr. 4.1.10 Průběh statorového napětí $U_{s\beta}$

4.2 Simulace s použitím vlastních vytvořených bloků

Ve druhé části simulace jsem nahradil napěťový střídač tvořený standardním blokem, blokem Matlab Function (**Obr. 4.2.1**). Použil jsem verzi bloku Matlab Function Embedded, kde můžeme program vepsat přímo do tohoto bloku a odpadá tak nutnost odkazovat se na externí m-file, kde máme program napsaný. Při použití tohoto bloku nám taky odpadá nutnost používat multiplexery na vstupech a demultiplexery na výstupech, jelikož tento blok nám po vepsání programu do něj, zobrazí možné vstupy a výstupy a ty můžeme ve schématu přímo připojit.

V této simulaci je použita komparační šířková modulace s uvažováním konstantní hodnoty U_d . Vstupní zadávací veličinou pro modulaci jsou pak přímo hodnoty generovaných sinusových napětí v jednotlivých fázích. Ty jsou komparovány (porovnávány) s pilovitým napětím U_p o kmitočtu 1kHz z generátoru pily. Na základě výsledků komparace jsou pak spínány tranzistory tak, že vytvoří pulzní průběh napětí na svorkách motoru.

Stanovení výstupního napětí v matematickém modelu v rámci simulačního programu Matlab-Simulink vychází z okamžitých průběhů napětí při spínání tranzistorů. To je dáno porovnáváním tří referenčních – řídicích napětí u_{ra} , u_{rb} , u_{rc} s jediným pilovitým napětím U_p přiváděným z generátoru pily. V případě, že je řídicí napětí pro danou fázi (větev) větší než napětí pily, spíná horní spínač příslušné větve, v opačném případě spíná spodní.[5]

$$\text{pokud } u_{ra} \geq u_p \text{ pak } u_{a0} = \frac{U_d}{2} \text{ jinak } u_{a0} = -\frac{U_d}{2} \quad (4.2 - 1)$$

$$\text{pokud } u_{rb} \geq u_p \text{ pak } u_{b0} = \frac{U_d}{2} \text{ jinak } u_{b0} = -\frac{U_d}{2} \quad (4.2 - 2)$$

$$\text{pokud } u_{rc} \geq u_p \text{ pak } u_{c0} = \frac{U_d}{2} \text{ jinak } u_{c0} = -\frac{U_d}{2} \quad (4.2 - 3)$$

Na základě těchto pomocných napětí u_{a0} , u_{b0} , u_{c0} (majících význam napětí mezi příslušnou výstupní svorkou měniče a středem napětí U_d stejnosměrného meziobvodu) stanovíme okamžité hodnoty fázových napětí dle následujících vztahů:[5]

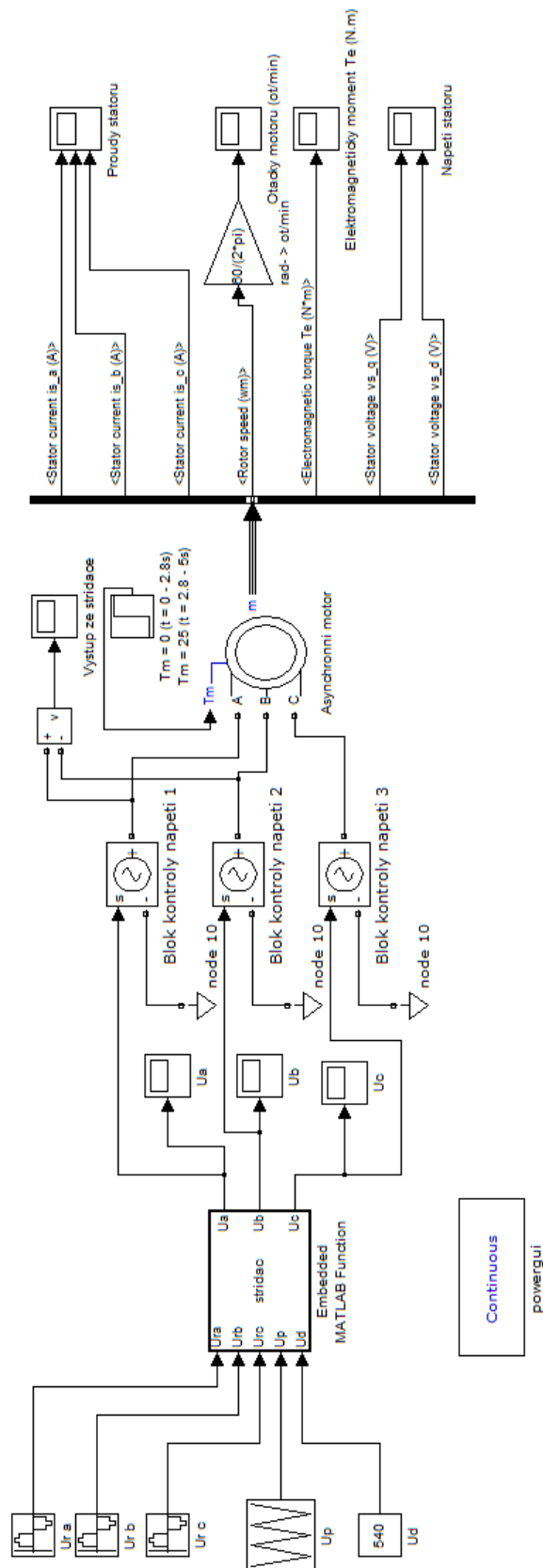
$$u_a = \frac{2u_{a0} - u_{b0} - u_{c0}}{3} \quad (4.2 - 4)$$

$$u_b = \frac{2u_{b0} - u_{a0} - u_{c0}}{3} \quad (4.2 - 5)$$

$$u_c = \frac{2u_{c0} - u_{b0} - u_{a0}}{3} \quad (4.2 - 6)$$

Do vytvořeného bloku střídače tudíž vstupují referenční (řídicí napětí) u_{ra} , u_{rb} , u_{rc} kde modulační amplitudy těchto napětí jsou nastaveny na hodnotu 0,9, frekvence těchto signálů je stanovena na 60 Hz a jednotlivá napětí jsou mezi sebou fázově posunuta o 120° . Dalším vstupem je pak vytvořený generátor pily U_p , který má amplitudu $\pm 1V$ a frekvence tohoto signálu je nastavena na 1kHz. Jako poslední vstup je U_d signál, který představuje stejnosměrnou složku napětí v mezi obvodu.

Na výstupu tohoto bloku jsou pak fázová napětí U_a , U_b a U_c .



Obr. 4.2.1 Schéma zapojení s použitím vlastního vytvořeného bloku pro napěťový střídač

Podle rovnic **4.2-1 až 6** lze vytvořit následující program, který vepíšeme přímo do bloku:

```
%napetovy stridac
% vystupy - fazova napeti Ua,Ub,Uc
% vstupy - Ura,Urb,Urc - jednotlivá referencni napeti
%          Up - pilove napeti
%          Ud - stejnosmerne napeti meziobvodu

function [Ua,Ub,Uc] = stridac(Ura,Urb,Urc,Up,Ud)

if Ura>=Up;
    Ua0=Ud/2;
else Ua0=(-Ud/2);
end;

if Urb>=Up;
    Ub0=Ud/2;
else Ub0=(-Ud/2);
end;

if Urc>=Up;
    Uc0=Ud/2;
else Uc0=(-Ud/2);
end;

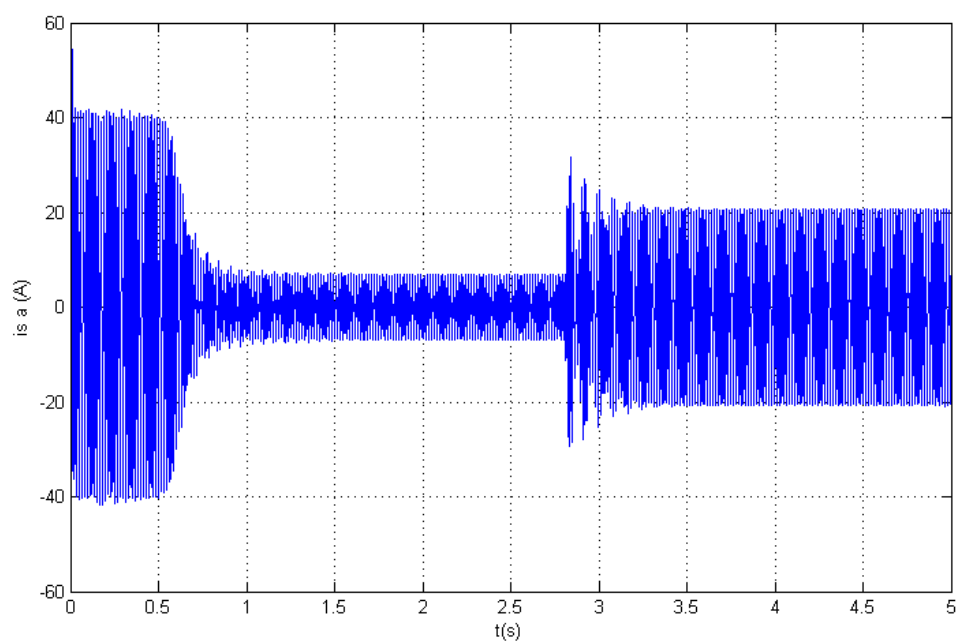
Ua=(2*Ua0-Ub0-Uc0)/3;
Ub=(2*Ub0-Uc0-Ua0)/3;
Uc=(2*Uc0-Ua0-Ub0)/3;

end
```

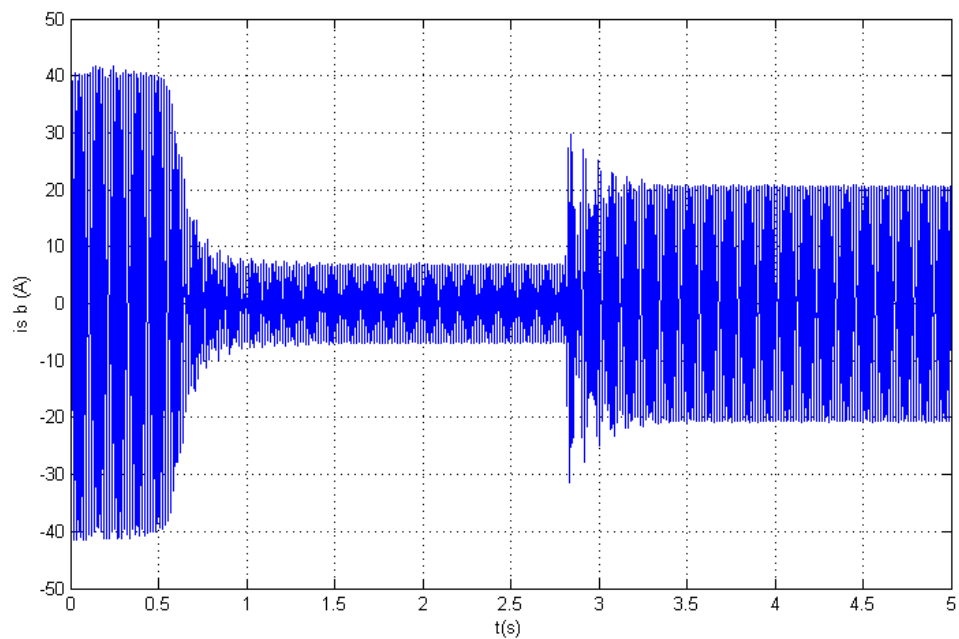
Jelikož na výstupu jsou fázová napětí, ale pro napájení je potřeba stejného sdruženého napětí jako v simulaci v **kapitole 4.1** musel jsem do obvodu přidat ještě tři bloky kontroly napětí. Ty zajišťují také spojení signálu z bloku Matlab-Function a převedení signálu na stejnou hodnotu napětí, které už lze připojit k asynchronnímu motoru. Výstup z vytvořeného bloku nelze přímo připojit, jelikož na výstupu je signál vytvořený pomocí programu, ale na vstup bloku motoru lze přivést jenom signál elektrický. K tomuto propojení právě slouží bloky kontroly napětí 1 až 3. Blok asynchronního motoru je nastaven na stejné hodnoty jako v předchozí simulaci viz. **Obr. 4.1.2**. I zde vstupuje kromě napájení ze střídače (v tomto případě vytvořeného) i hodnota T_m – mechanický moment. Opět i zde je nastavena tak, aby v čase $t = 0$ až 2,8 sekund byla jeho hodnota nulová a poté v čase $t = 2,8$ až 5 sekund skokově vystoupala na hodnotu 25 Nm.

Výstup bloku motoru m je pak opět připojen pomocí bus selektoru (linkového voliče) k zobrazovacím prvkům pro možnosti zobrazení charakteristik.

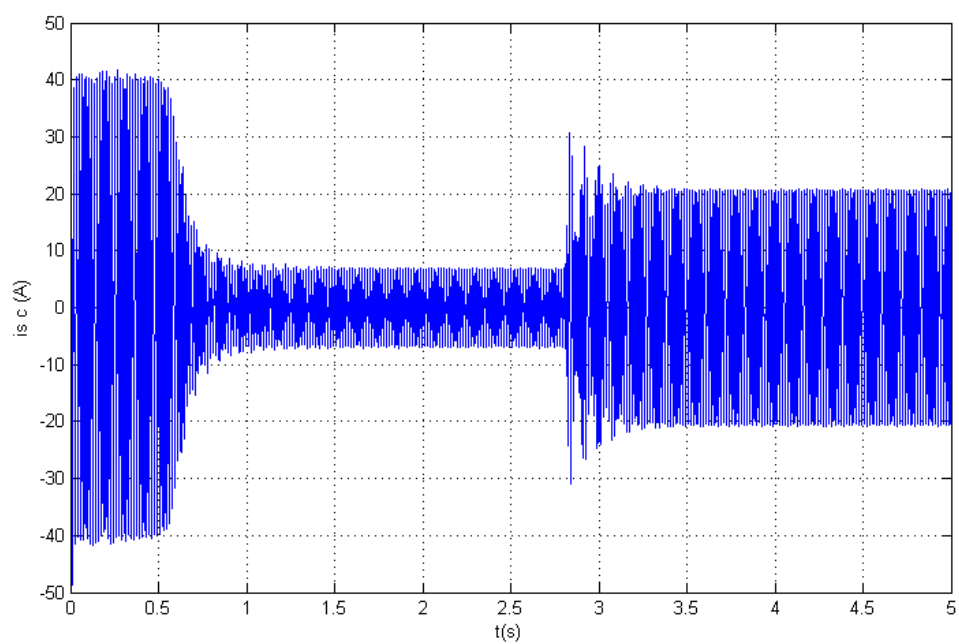
Výstupní zobrazené průběhy pak tvoří satorové proudy $i_{s a}$, $i_{s b}$, $i_{s c}$, otáčky motoru, elektromagnetický moment M_e , napětí satoru $U_{s a}$ a $U_{s \beta}$ a výstup z napěťového střídače.



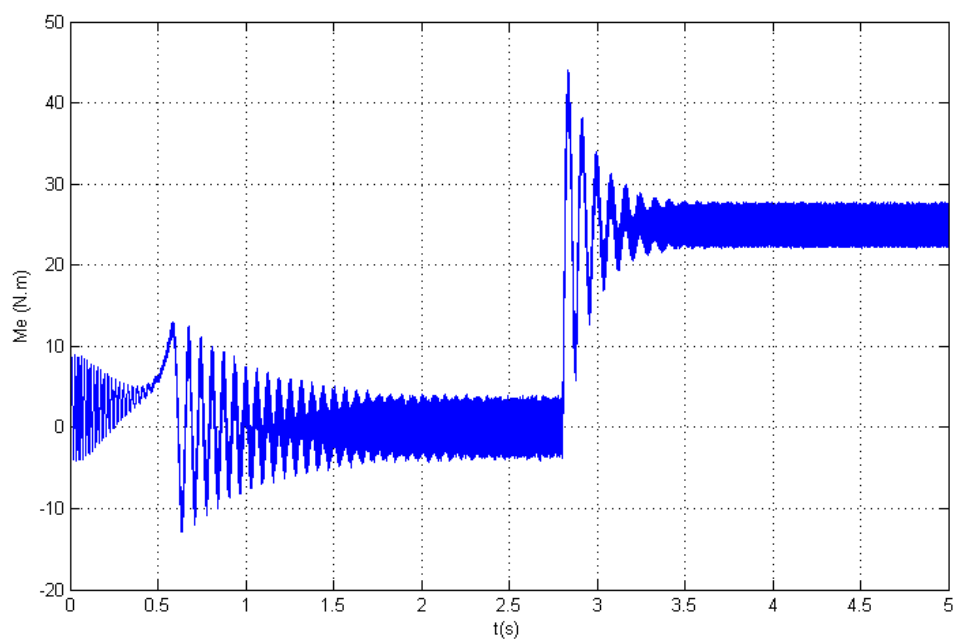
Obr. 4.2.2 Průběh satorového proudu $i_{s a}$



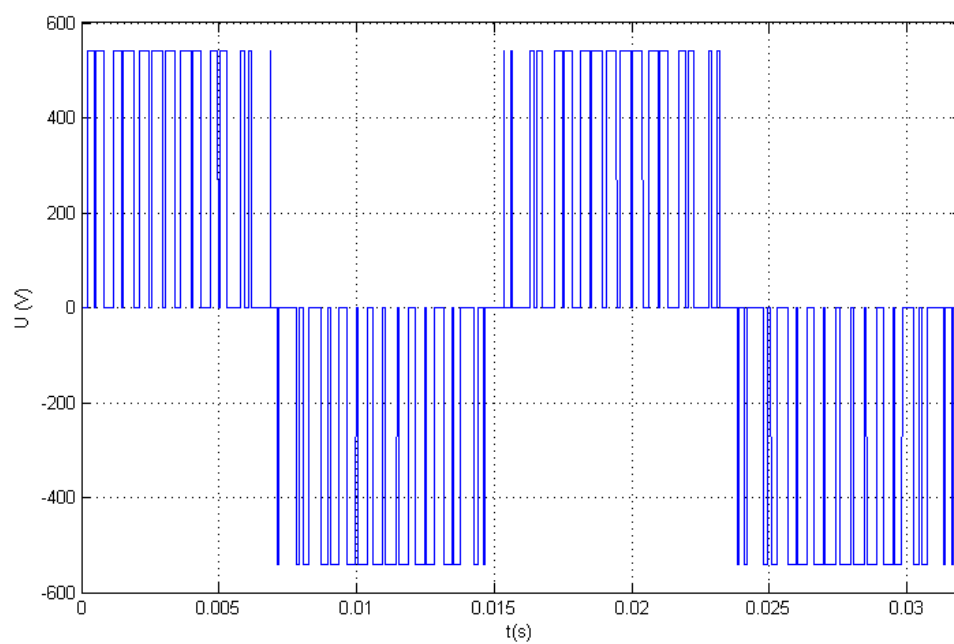
Obr. 4.2.3 Průběh satorového proudu $i_{s b}$



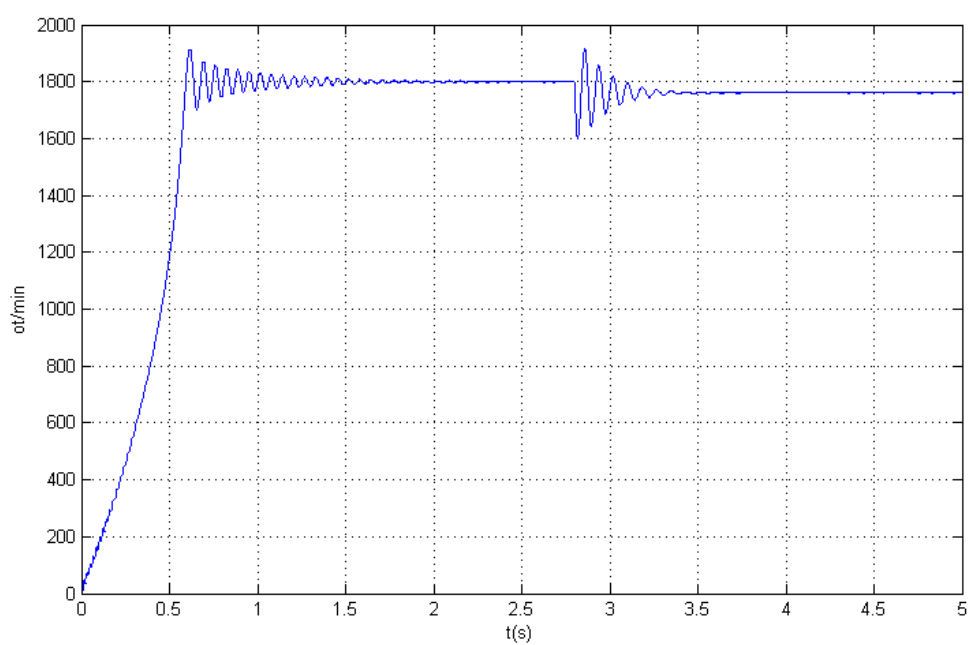
Obr. 4.2.4 Průběh statorového proudu i_{sc}



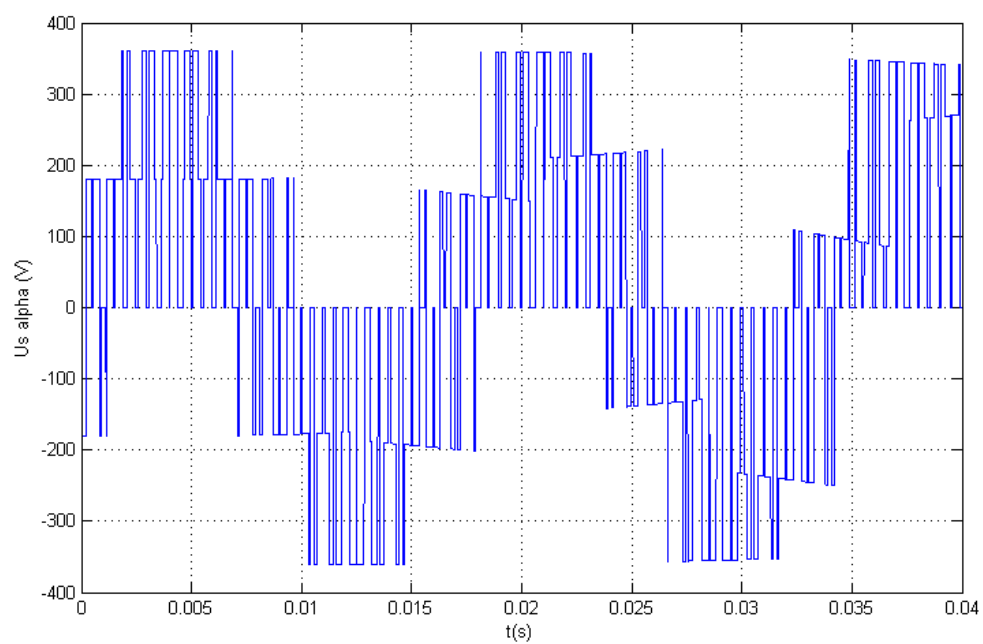
Obr. 4.2.5 Průběh elektromagnetického momentu M_e



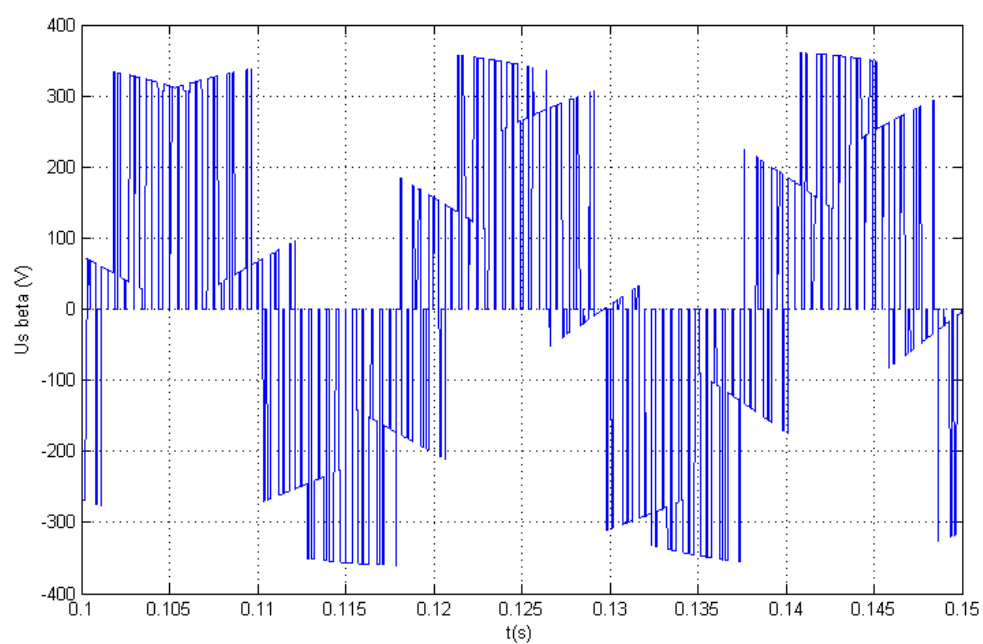
Obr. 4.2.6 Výstupní průběh z napěťového střídače



Obr. 4.2.7 Průběh otáček motoru



Obr. 4.2.8 Průběh statorového napětí $U_{s\alpha}$



Obr. 4.2.9 Průběh statorového napětí $U_{s\beta}$

4.3 Zhodnocení a porovnání simulací:

V první simulaci byly použité standardní bloky z knihovny programu Matlab-Simulink, konkrétně z knihovny SimPowerSystem. Ve druhé simulaci byl pak použit vytvořený blok napěťového střídače pomocí vepsaného programu do bloku Matlab-Function.

Časy trvání simulací byly následující – u simulace s použitím standardních bloků byl zvolen čas trvání simulace $t = 4\text{ s}$ a u simulace s vlastním blokem pak $t = 5\text{ s}$. Důvod volby kratšího času u první simulace byl ten, že program bral v potaz velké množství hodnot a při delším časovém úseku než 4s, program zamrzal a upozorňoval na nedostatek operační paměti.

U obou simulací byly parametry asynchronního motoru nastaveny stejně, včetně stejného momentu zatížení T_m . Ten byl zvolen tak, že v první době simulace ($t = 0$ až $2,8\text{ s}$) byl nastaven tak, aby se motor rozjel na synchronní otáčky. Poté (tj. v čase $t = 2,8$ až 5 s) se motor skokově zatížil hodnotou 25 Nm a zjišťoval jsem vliv tohoto mechanického momentu T_m na výstupní charakteristiky asynchronního motoru.

Z výstupních charakteristik můžeme vyčíst, že hodnoty statorových proudů i_{sa} , i_{sb} , i_{sc} jsou při rozběhu motoru na synchronní otáčky ($t = 0$ - 1 s) značně větší než jejich hodnota při dosažení synchronních otáček motoru. Po přivedení momentu v hodnotě 25 Nm se hodnoty těchto proudů na malou chvíli zachovávají stejně, jako když se motor rozbíhá. Potom se jejich hodnota opět ustálí, avšak na větší hodnotě než při synchronních otáčkách, tj. při nulovém momentu $T_m = 0$ (**Obr. 4.1.3 až 5 a 4.2.2 až 4**).

Z průběhů pro elektromagnetický moment M_e na obrázcích **Obr. 4.1.6 a 4.2.5** lze vyčíst, jak se hodnota M_e změní, když motor zatížíme. Po rozběhnutí motoru je vidět ustálená hodnota M_e kolem 0, v závislosti na zadaném T_m , které je pro tento čas, tj. $t = 0$ až $2,8\text{ s}$ nulové. Po zatížení motoru momentem $T_m = 25\text{ Nm}$, je na grafických výstupech zřejmá i změna hodnoty z 0 na 25 Nm . Elektromagnetický moment M_e se pak ustálí právě kolem hodnoty 25 Nm , což je vidět i na obou průbězích.

U průběhů otáček motoru n (**Obr. 4.1.8 a 4.2.7**) lze vyčíst, ustálení motoru na synchronních otáčkách ($n = 1800\text{ ot/min}$). Po přivedení mechanického momentu $T_m = 25\text{ Nm}$ se pak motor znovu ustaluje, ale již se nevrátí na hodnotu synchronních otáček. Zůstane na nižších otáčkách (přibližně $n = 1760\text{ ot/min}$), což je způsobeno právě přivedeným momentem. Aby na výstupech byla uvedena rychlost otáčení motoru v ot/min , dal jsem před zobrazovač blok s konstantou $60/(2\pi)$, která zajišťuje přepočítání z rad/s na ot/min .

Dále pak lze zjistit, že oba střídače byly nastaveny stejně a pracovaly správně (**Obr. 4.1.7 a 4.2.6**). Průběhy střídače tvořeného vlastním naprogramovaným blokem byly přesnější a bez jakýchkoliv překmitů. To se dalo zjistit, pokud jsem výsledky přiblížil. U standardního bloku šly odpozorovat překmity, které byly způsobeny útlumovým odporem R_s a útlumovou kapacitou C_s .

Jako poslední průběhy (**Obr. 4.1.9-10 a 4.2.8-9**) byly zobrazeny napětí statoru U_{sa} a U_{sb} .

5 Závěr

Tato bakalářská práce byla zaměřena na dva hlavní body. První bod tvořila spíše teoretická část, ve které bylo potřeba nalézt bloky vhodné pro simulaci asynchronního motoru a pro jeho napájení v programu Matlab-Simulink. Nalezené bloky jsem pak detailně popsal, včetně popisu nastavení každého parametru (pomocí vlastního překladu z nápovědy pro každý blok v programu Matlab), který se u daného bloku může vyskytnout. Kromě bloků které byly přímo zapojeny do obvodu, musel být ve schématu i blok Powergui, bez kterého nebylo možné spustit simulaci. Tento blok je nezbytný pro bloky z knihovny SimPowerSystem a je podrobně popsán v kapitole 3.4.

Ve druhé části práce jsem pak vytvořil simulační obvod pro zapojení napětového střídače a asynchronního motoru. Tento obvod jsem nejprve vytvořil pomocí nalezených standardních bloků v programu a poté jsem napětový střídač nahradil vlastním blokem – pomocí programu vepsaného do bloku Matlab-Function. Asynchronní motor byl nastaven podle zadaných hodnot u vedených v tabulce 4.1.

Úkolem pak bylo zkoumat a porovnat jak moc se od sebe liší výstupní průběhy a zdali nastavit hodnoty naprogramovaného střídače stejně jako u bloku z knihovny. Jako výstupní veličiny byly zvoleny satorové proudy $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$, i_{sc} , otáčky motoru n , elektromagnetický moment M_e , napětí satoru $U_{s\alpha}$ a $U_{s\beta}$ a výstup z napětového střídače U .

Z výstupních průběhů je pak znatelné, že se oba simulační modely chovaly velice podobně, průběhy byly prakticky v obou simulacích totožné. U napětového střídače tvořeného standardním blokem se daly, po detailnějším přiblížení průběhů, zjistit drobné napětové překmity, které byly způsobeny nastavenými parametry střídače, konkrétně propustným napětím U_f , které se zde muselo nastavit na hodnotu 1 V pro spínání součástek.

Pokud byl střídač zhotoven pomocí programovatelného bloku, tak po přiblížení průběhů zde tyto překmity nebyly. Tento blok pracoval prakticky v režimu ideálního spínače a neprojevalo se na něm propustné napětí U_f , které se zde nikde nemuselo nastavovat a tak se ve výstupním průběhu neprojevalo.

Jako další možnost se zde nabízí i zařazení dalších nalezených bloků do simulace a následné porovnání výstupních průběhů pro jednotlivé standardní bloky.

Použitá literatura

- [1] Majerová. Matlab [online]. 2010
<<http://uprt.vscht.cz/majerova/matlab/>>
- [2] Jaromír Tyrbach, Ing. Výkon střídavého proudu, účinník [online]. 2011
<http://web.telecom.cz/tyrbach/Stridavy_vykon.pdf>
- [3] Moeller. Elektronické spouštěče motorů a pohony [online]. 2009
<<http://www.eatonelektrotechnika.cz/priruckazapojeni/drives002.html/>>
- [4] Zeman K. Napěťové střídače[online]. 2009
<vyuka.fel.zcu.cz/kev/st_texty/NAP_ST.DOC>
- [5] Neborák I. Asynchronní (indukční) stroje motory [online]. 2009
<http://feil.vsb.cz/kat430/data/mech/prednasky/MS_motory%20asynchronni.pdf>
- [6] Neborák I. Modelování a simulace měničů kmitočtu [online]. 2006
<<http://feil.vsb.cz/kat430/data/mases/MaS%20MS4%20menice%20kmitoctu.pdf>>
- [7] Neborák I. Základní popis programu Matlab-Simulink[online]. 2006
<http://feil.vsb.cz/kat430/data/mases/MaS%20MS1%20popis%20programu_new.pdf>
- [8] Kolektiv autorů. Praktický technický slovník anglicko-český/česko-anglický. 1. vyd. Plzeň: Fraus, 2008. 472 s. ISBN 978-80-7238-640-6
- [9] The MathWorks, Inc. Matlab [počítačový program]. Version 7.8 (R2009a) for Windows. Natick (Massachusetts, US).